



TUGAS AKHIR - RE 141581

**STABILISASI/SOLIDIFIKASI TANAH TERCEMAR
MERKURI SIMULASI MENGGUNAKAN SEMEN
PORTLAND DAN *FLY ASH***

SUCIATY FAISAL
3311100060

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. YULINAH TRIHADININGRUM, MAppSc.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - RE 141581

**STABILIZATION/SOLIDIFICATION OF SIMULATED
MERCURY CONTAMINATED SOIL USING
PORTLAND CEMENT AND FLY ASH**

**SUCIATY FAISAL
3311100060**

**Supervisor
Prof. Dr. YULINAH TRIHADININGRUM, MAppSc.**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

Stabilisasi/Solidifikasi Tanah Tercemar Merkuri Simulasi Menggunakan Semen Portland dan *Fly Ash*

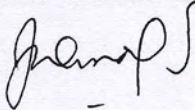
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

SUCIATY FAISAL
NRP. 3311100060

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc
NIP. 19530706 198403 2 004



ABSTRAK

Stabilisasi/Solidifikasi Tanah Tercemar Merkuri Simulasi Menggunakan Semen *Portland* dan *Fly Ash*

Nama : Suciaty Faisal
NRP : 3311100060
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Prof.Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.AppSc.

Tanah di daerah penambangan emas rakyat Kabupaten Kulon Progo telah tercemar merkuri. Salah satu teknologi remediasi tanah tercemar logam berat adalah metode Stabilisasi/Solidifikasi (S/S) menggunakan semen *Portland* dan *fly ash*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kualitas produk S/S tanah tercemar merkuri dengan campuran *binder* semen *Portland* – *fly ash*.

Sampel tanah merupakan sampel buatan dengan kadar merkuri 150 mg/kg. Benda uji dibuat pada cetakan kubus berukuran 5 cm. Variasi tahap pertama adalah komposisi semen *Portland* dan *fly ash* (dalam % berat) yaitu 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50. Pada tahap kedua ditambahkan tanah tercemar merkuri pada komposisi optimum *binder*, dengan variasi tanah : campuran optimum *binder* adalah 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50. Kemudian, dilakukan uji kuat tekan dan *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* pada benda uji.

Pada tahap pertama ditentukan komposisi optimum semen *Portland* – *fly ash* yaitu 50:50 dengan nilai kuat tekan 5560 ton/m². Pada tahap kedua didapatkan nilai kuat tekan pada komposisi *binder*:tanah 50:50 yaitu 1140 ton/m² dengan konsentrasi merkuri pada uji TCLP sebesar 0,0064 mg/L. Semua benda uji masih memenuhi baku mutu kuat tekan menurut US EPA yaitu 35 ton/m² dan baku mutu TCLP-B menurut Peraturan Pemerintah nomor 101/2014 yaitu 0,05 mg/L. Berdasarkan hasil penelitian, semakin banyak penggunaan *fly ash* dan sampel tanah pada benda uji akan menurunkan kualitas produk S/S.

Kata kunci: *fly ash*, merkuri, semen *Portland*, stabilisasi/solidifikasi, tanah

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRACT

Stabilization/Solidification of Simulated Mercury Contaminated Soil Using Portland Cement and Fly Ash

Name : Suciaty Faisal
Student ID : 3311100060
Department : Environmental Engineering
Supervisor : Prof.Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.AppSc.

Soil in artisanal gold mining area in Kulon Progo Regency has been contaminated by mercury. One of technology of heavy metal contaminated soil remediations was Stabilization/Solidification (S/S) method using Portland cement and fly ash. This research aims to determine the quality of S/S of mercury contaminated-soil product with compounded binder of Portland cement-fly ash.

The sample used in this experiment was artificial sample which contain mercury 150 mg/kg. Specimen was made using 5 cm-cube specimen mould. On the first step, the Portland cement and fly ash (in % weight) composition varies of 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, and 50:50. On the second step, mercury contaminated-soil was added to the optimum Portland cement-fly ash composition. Hence, this composition varies of 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, and 50:50. Then, the specimen would be tested for its quality using compressive strength Test and Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP).

Firstly, the optimum Portland cement-fly ash composition was determined as 50:50 compositions with its compressive strength result by 5560 ton/m². Secondly, the compressive strength result of 50:50 binder:soil composition was observed as 1140 ton/m² with mercury concentration on TCLP test of 0,0064 mg/L. On the final step, all specimens were still able to meet compressive strength standard according to US EPA of 35 ton/m² and TCLP-B standard according to Government Regulation number 101/2014 of 0,05mg/L. The increasing amount of fly ash and soil sample used in specimen would worsen the quality of S/S product.

Keyword: fly ash, mercury, Portland cement, soil, stabilization/solidification

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Stabilisasi/Solidifikasi Tanah Tercemar Merkuri Menggunakan Semen Portland dan Fly Ash”**. Atas bimbingan, arahan, dan bantuannya penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof.Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing dengan sangat baik, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, dan ilmu yang diberikan selama bimbingan tugas akhir.
2. Ibu I.D.A.A. Warmadewanthi, ST.,MT.,PhD., Bapak Welly Herumurti, ST.,MSc., Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST.,MT.,MPhil.,PhD., dan Ibu Susi Agustina Wilujeng, ST.,MT selaku dosen penguji yang telah memberikan ilmu dan masukan untuk tugas akhir ini.
3. Ibu Prof.Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc. selaku dosen wali yang telah memberikan masukan, membimbing, dan mengarahkan penulis selama perkuliahan.
4. Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST.,MT.,MPhil.,PhD. selaku Sekprodi S1 dan Koordinator Tugas Akhir yang memberikan pengarahan tugas akhir.
5. Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE.,MSc.,PhD. selaku ketua jurusan Teknik Lingkungan yang memfasilitasi kegiatan perkuliahan.
6. Kedua orangtua penulis yang telah memberikan dukungan, semangat dan doa hingga selesainya tugas akhir ini.
7. Syaiful Hans Saputra, Bapak Ranno Marlany Rachman, dan Bang Zofar Agluis B. selaku *partner* tugas akhir yang telah berkerja sama dan memberikan bantuan selama tugas akhir.
8. Anifatius, Indah, Riry, Nurul, Tiffany, Dimas, Putmei, Regy, Elok, Thaniya, Ristra, Dedik, Vilancia, Mbak Nindy dan Akbar yang telah banyak membantu dan mendukung selama tugas akhir.

Surabaya, Mei 2015

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun	5
2.2 Logam Berat Merkuri (Hg).....	6
2.3 Pencemaran Merkuri di Tanah	7
2.4 Stabilisasi/Solidifikasi	8
2.5 Abu terbang (Fly Ash).....	9
2.6 Semen Portland	11
2.7 Uji kuat tekan.....	13
2.8 Uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure	15
2.9 Teknik perawatan mortar (Curing).....	16
2.10 Pembuatan Sampel Tanah Buatan	17
2.11 Penelitian Terdahulu.....	17
BAB III METODE PENELITIAN	19

3.1	Kerangka Penelitian.....	19
3.2	Tahapan Penelitian	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Karakteristik Sampel Tanah.....	27
4.2	Penelitian Tahap I	28
4.2.1	Uji Konsistensi Normal Tahap I	28
4.2.2	Pembuatan Benda Uji dan <i>Curing</i> Tahap I	29
4.2.3	Uji Kuat Tekan Tahap I	30
4.3	Penelitian Tahap II	33
4.3.1	Persiapan Sampel Tanah Tercemar Buatan	33
4.3.2	Uji Konsistensi Normal Tahap II	35
4.3.3	Pembuatan Benda Uji dan <i>Curing</i> Tahap II	35
4.3.4	Uji Kuat Tekan Tahap II	37
4.3.5	Uji <i>Toxicity Characteristic Leaching Procedure</i> (TCLP) 40	
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		45
5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran	45
DAFTAR PUSTAKA.....		47
LAMPIRAN A PROSEDUR PENELITIAN		55
LAMPIRAN B PERHITUNGAN.....		57
LAMPIRAN C DOKUMENTASI PENELITIAN		63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan Kimia <i>Fly Ash</i>	10
Tabel 2.2 Kandungan Kimia <i>Fly Ash</i> PLTU Paiton	11
Tabel 2.3 Kandungan Kimia Semen <i>Portland</i>	12
Tabel 2. 4 Toleransi Waktu Pengujian Kuat Tekan	14
Tabel 2.5 Nilai Korelasi Umur Beton	15
Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu	17
Tabel 3.1 Variabel Penelitian Tahap 1	22
Tabel 3.2 Variabel Penelitian Tahap 2	23
Tabel 4.1 Hasil Analisis Pembagian Butir Sampel Tanah	27
Tabel 4.2 Hasil Uji Konsistensi Normal Tahap I	28
Tabel 4.3 Variasi Komposisi <i>Binder</i> Penelitian Tahap I	29
Tabel 4.4 Nilai Kuat Tekan Benda Uji Tahap I	30
Tabel 4.5 Densitas Benda Uji Tahap I	32
Tabel 4.6 Massa $Hg(II)SO_4$ yang Ditambahkan Pada Sampel Tanah.....	34
Tabel 4.7 Hasil Uji Konsistensi Normal Tahap II	35
Tabel 4.8 Variasi Komposisi Penelitian Tahap II	36
Tabel 4.9 Hasil Uji Kuat Tekan Benda Uji Tahap II	37
Tabel 4.10 Densitas Benda Uji Tahap II	39
Tabel 4.11 Hasil Pengukuran pH Sampel Benda Uji	40

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kelarutan Logam pada Berbagai pH	6
Gambar 2.2 Ilustrasi Hasil Remediasi dengan S/S	9
Gambar 2.3 Toorse Universal Testing Machine	14
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	21
Gambar 3.2 Specimen Mould	24
Gambar 4.1 Sampel Tanah Sebelum Dikarakterisasi	27
Gambar 4.2 Perbandingan Nilai Kuat Tekan dengan Densitas Benda Uji Tahap I	32
Gambar 4.3 Sampel Tanah Setelah Digiling	34
Gambar 4.4 Benda Uji Setelah Curing	37
Gambar 4.5 Perbandingan Kuat Tekan dengan Densitas Tahap II	39
Gambar 4.6 Sampel Setelah Proses Rotasi-Agitasi	41
Gambar 4.7 Konsentrasi Hg pada Uji TCLP	41

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penambangan emas rakyat atau Penambang Emas Tanpa Izin (PETI) di Kabupaten Kulon Progo menyebabkan pencemaran merkuri pada tanah. Proses pengolahan bijih emas di Kabupaten Kulon Progo dilakukan dengan proses amalgamasi yang menggunakan merkuri sebagai media pengikat emas. Selanjutnya emas dipisahkan dengan proses penggarangan atau pemijaran sampai didapatkan logam paduan emas dan perak, sedangkan merkuri menjadi uap (Beard, 1987). Pada proses amalgamasi, 25-30 % dari merkuri yang digunakan hilang ke lingkungan (Veiga *et al.*, 2009). Pencemaran merkuri terjadi akibat sisa *tailing* yang tercecer saat pemindahannya dan saat kolam penampung *tailing* penuh (Setiabudi, 2005). Menurut Keputusan KaBapedal 01/1995 mengenai Tata Cara Persyaratan Teknis Penyimpanan dan Pengumpulan Limbah B3, penampung limbah B3 harus tertutup agar tidak terjadi tumpahan saat pemindahannya.

Berdasarkan penelitian Denni dkk. (2005), contoh tanah uji di daerah Sangon, Kulon Progo menunjukkan kadar merkuri yang sangat tinggi >50 ppm. Pada sisa *tailing* menunjukkan kadar merkuri sebesar 800-6900 ppm (Denni dkk., 2005). Nilai maksimum konsentrasi Hg pada tanah yang tidak tergolong limbah B3 berdasarkan PP No.101 Tahun 2014 adalah 0,3 mg/kg. Berdasarkan US EPA (2007) kandungan merkuri pada tanah yang diizinkan adalah 2,0 ppm. Kandungan merkuri pada tanah di daerah Sangon dapat dikatakan sudah jauh melebihi batas rata-rata. Pencemaran merkuri pada tanah dapat mencemari air tanah, dimana air tanah tersebut dimanfaatkan oleh penduduk yang menggunakan air sumur untuk kehidupan sehari-hari. Merkuri dapat membahayakan lingkungan karena dapat diserap oleh tumbuhan dengan cepat dan dapat membahayakan kehidupan manusia karena adanya rantai makanan (Wang *et al.*, 2012). Merkuri merupakan satu-satunya logam yang mengalami biomagnifikasi melalui rantai makanan dan sangat mudah mengalami transformasi menjadi bentuk organik yang lebih toksik (Rianto, 2010). Hasil penelitian Bose-O'Reilly *et al.* (2010)

menyatakan 62% dari amalgam *smelter* di Kalimantan didiagnosis keracunan merkuri kronis. Tanah yang tercemar merkuri perlu dilakukan perbaikan.

Perbaikan tanah atau remediasi dilakukan untuk menghindari resiko kontaminasi logam berat yang berasal dari alam dan akibat ulah manusia atau *anthropogenic* (Purwani, 2010). Penelitian yang dilakukan Zulkoni dkk. (2009) perbaikan tanah tercemar merkuri akibat penambangan emas di Kulon Progo dapat dilakukan dengan fitoremediasi. Remediasi dilakukan dengan penanaman tumbuhan akasia, sengon, dan lamtoro. Pemberian variasi kompos dan mikronutrien pada tanaman bertujuan untuk penyerapan merkuri yang mengontaminasi tanah (Zulkoni dkk., 2009). Teknik remediasi lahan tercemar merkuri juga dapat dilakukan dengan metode Stabilisasi/Solidifikasi (S/S) (Wang *et al.*, 2012). Di United State, teknik S/S lebih banyak digunakan untuk memperbaiki lahan tercemar dibanding teknik bioremediasi dan *thermal desorption* (EPA, 2000). Teknik S/S telah diterapkan untuk tanah tercemar logam berat di Birmingham, South Carolina, dan Miami, serta *superfund site* di California dan Kanada. S/S merupakan proses enkapsulasi limbah menjadi material yang padat dengan permeabilitas rendah dan mencegah terjadinya migrasi kontaminan dengan memperkecil luas permukaan penyebaran lindi (EPA, 2000). Proses S/S dapat berjalan dengan baik dengan penggunaan pengikat anorganik, pengikat yang umum digunakan adalah semen *Portland*, *pozzolan*, dan campuran keduanya (EPA, 2006). *Pozzolan* adalah bahan yang mengandung silika atau bahan alumina yang mempunyai sifat seperti semen (EPA, 2006). Semen *Portland* merupakan perekat hidrolik yang bereaksi dengan air untuk mengikat benda padat lainnya membentuk satu kesatuan massa padat dan keras (Marzuki, 2007). *Pozzolan* yang digunakan dalam S/S juga dapat berupa kapur, CaCl_2 , dan fly ash, karena dapat meningkatkan kuat tekan beton dan *leachability* logam berat (Singhal *et al.*, 2012).

Fly ash merupakan sisa hasil pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus (Nurzal dan Mahmud, 2013). Ukuran partikel *fly ash* yang kecil membuat beton lebih padat karena rongga antara butiran agregat dapat terisi oleh *fly ash* sehingga dapat memperbaiki mutu beton (Rommel dan Rusdianto, 2012). *Fly ash* merupakan salah satu bahan stabilisasi yang ekonomis

karena banyak diproduksi oleh industri yang melakukan pembakaran, seperti PLTU dan pabrik semen (Afrianita dkk.,2010). Produksi *fly ash* dari pembangkit listrik di Indonesia jumlahnya mencapai dua juta ton pada tahun 2000 (Ngurah dkk.,2008). Penggunaan *fly ash* dimaksudkan untuk mengurangi penggunaan semen *Portland* sebagai bahan pengikat kontaminan merkuri. Penggunaan *fly ash* juga bertujuan untuk memanfaatkan limbah B3 karena terdapat kandungan oksida logam berat pada *fly ash* (Wardani, 2008). Berdasarkan hasil penelitian Shalahuddin (2009), penambahan *fly ash* sebesar 5 % terhadap berat semen dengan waktu uji 28 hari mempunyai nilai kuat tekan beton sebesar 579,8 kg/cm², nilai tersebut memenuhi SNI kuat tekan semen *Portland* yaitu 220 kg/cm². Pada proses S/S untuk tanah tercemar memiliki baku mutu kuat tekan khusus menurut US EPA yaitu 35 ton/m² (Ganjidoust *et al.*, 2009). Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui komposisi optimum campuran *fly ash* dan semen *Portland*, serta komposisi tanah tercemar dalam proses S/S.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang mendasari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana komposisi optimum campuran semen *Portland* – *fly ash* pada proses S/S?
2. Bagaimana komposisi tanah tercemar merkuri dengan campuran optimum semen *Portland* – *Fly ash* untuk proses S/S?
3. Bagaimana kualitas hasil S/S tanah tercemar merkuri?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan komposisi optimum campuran semen *Portland* – *fly ash* pada proses S/S.
2. Menentukan komposisi tanah tercemar merkuri dengan campuran optimum semen *Portland* – *Fly ash* untuk proses S/S.
3. Menentukan kualitas hasil S/S tanah tercemar merkuri.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan alternatif teknik remediasi tanah tercemar merkuri.
2. Memberikan informasi mengenai potensi *fly ash* sebagai bahan campuran semen *Portland* untuk proses S/S tanah tercemar merkuri.
3. Memberikan informasi ilmiah mengenai proses S/S tanah tercemar merkuri akibat penambangan emas.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium di Laboratorium Limbah Padat dan B-3 Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS. Pembuatan benda uji S/S dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.
2. Sampel tanah merupakan sampel buatan mengandung merkuri.
3. Bahan yang digunakan adalah *Ordinary Portland Cement* yang berasal dari PT.Varia Usaha dan *fly ash* yang berasal dari PT. Jawa Power (PLTU) Paiton.
4. Variabel yang digunakan adalah komposisi semen *Portland* – *fly ash* dan variasi campuran tanah tercemar merkuri.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun

Pengertian limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) menurut Peraturan Pemerintah nomor 101 tahun 2014 adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan beracun yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain. Karakteristik limbah B3 dalam PP nomor 101 tahun 2014 meliputi

- Mudah meledak;
- Mudah menyala;
- Reaktif;
- Infeksius;
- Korosif; dan/atau
- Beracun.

Limbah B3 berdasarkan kategori bahayanya dibagi atas:

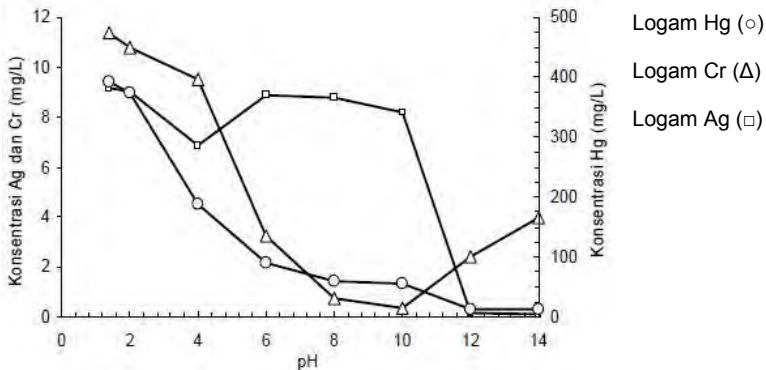
1. Limbah B3 kategori 1, dengan kriteria sesuai dengan karakteristik limbah B3; memiliki konsentrasi zat pencemar lebih besar dari konsentrasi zat pencemar pada kolom TCLP-A; dan memiliki nilai Uji Toksikologi LD50 lebih kecil dari atau sama dengan 50 mg/kg (lima puluh miligram per kilogram) berat badan hewan uji.
2. Limbah B3 kategori 2, dengan kriteria memiliki karakteristik beracun melalui TCLP untuk menentukan Limbah yang diuji memiliki konsentrasi zat pencemar lebih kecil atau sama dengan konsentrasi zat pencemar pada kolom TCLP-A dan memiliki konsentrasi zat pencemar lebih besar dari konsentrasi zat pencemar pada kolom TCLP-B; nilai Uji Toksikologi LD50 lebih besar dari 50 mg/kg (lima puluh miligram per kilogram) berat badan hewan uji dan lebih kecil dari atau sama dengan 5000 mg/kg; dan memiliki karakteristik beracun melalui uji toksikologi sub-kronis.

2.2 Logam Berat Merkuri (Hg)

Logam berat adalah unsur-unsur kimia yang memiliki berat jenis lebih besar dari 5 g/cm^3 (Apriliani, 2010). Unsur-unsur logam berat mempunyai nomor atom 22 sampai 92. Menurut Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup tahun (1990) dalam Hartati dkk. (2011), sifat toksisitas logam berat dapat dikelompokkan ke dalam 3 kelompok, yaitu:

- Bersifat toksik tinggi yang terdiri dari atas unsur-unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn.
- Bersifat toksik sedang terdiri dari unsur-unsur Cr, Ni, dan Co.
- Bersifat toksik rendah terdiri atas unsur Mn dan Fe.

Merkuri mempunyai simbol kimia Hg atau *Hydragyrum* yang berarti perak cair adalah logam berat berbentuk cair pada temperatur kamar dan berwarna putih-keperakan (Rianto, 2010). Pada tabel periodik unsur kimia, merkuri mempunyai nomor atom 80 dan massa atom 200,59. Merkuri mempunyai titik beku $-38,87^\circ\text{C}$ dan titik didih $356,90^\circ\text{C}$ serta berat jenis $13,55 \text{ gr/cm}^3$ (Putranto, 2011). Sifat penting merkuri lainnya adalah kemampuannya untuk melarutkan logam lain dan membentuk logam paduan atau *alloy* (Setiabudi, 2005). Kelarutan logam Hg semakin besar saat pH dari cairan rendah, grafik kelarutan Hg tersaji pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Kelarutan Logam pada Berbagai pH

Sumber: Suprihatin dan Indrasti, 2010

Merkuri menjadi perhatian besar karena mempunyai sifat toksisitas dan volatilitas yang tinggi, serta kemudahan bioakumulasi. Merkuri yang termetilasi memiliki afinitas tinggi untuk jaringan lemak dalam organisme dan dapat terakumulasi melalui rantai makanan ke tingkat yang lebih beracun dalam organisme tersebut (Zhang, 2009). Metil merkuri mempunyai daya ikat yang kuat dalam tubuh hewan air dan tumbuhan, dengan adanya bioakumulasi dan biomagnifikasi merkuri dapat membahayakan kesehatan manusia (Wang *et al.*, 2012).

2.3 Pencemaran Merkuri di Tanah

Proses penambangan emas tradisional merupakan kontributor *anthropogenic* terbesar pencemaran merkuri, salah satu metode ekstraksi biji emas yang banyak digunakan oleh penambang emas tradisional adalah amalgamasi (Appel, 2014). Proses amalgamasi merupakan proses yang menggunakan merkuri (Hg) sebagai media pengikat emas (Setiabudi, 2005).

Pada proses amalgamasi, emas dipisahkan dari pengikatnya dengan proses penggarangan atau pemijaran sehingga diperoleh logam paduan (*alloy*) emas dan perak, sedangkan merkuri (Hg) akan menjadi uap (Beard, 1987). Uap hasil penggarangan emas akan terbuang ke lingkungan sebesar 25-30 % (Veiga *et al.*, 2009). Pada proses amalgamasi, merkuri (Hg) juga dapat terlepas ke lingkungan pada proses pencucian (Widhiyatna, 2005). Uap merkuri (Hg) bebas dan sisa air pencucian (*tailing*) dapat mengkontaminasi tanah di sekitar tempat penggarangan maupun pencucian.

Contoh uji tanah yang diteliti oleh Denni dkk. (2005), di lokasi penambangan emas tradisional di daerah Sangon Yogyakarta, mempunyai kadar merkuri (Hg) lebih dari 50 ppm dan juga sisa *tailing* yang memiliki kadar merkuri sangat tinggi yaitu 800-6900 ppm. Menurut Levinson (1974) dalam Widhiyatna (2005), kandungan rata-rata unsur merkuri pada tanah adalah 0,03 ppm, sedangkan menurut US EPA (2007) kandungan merkuri di tanah yang diizinkan adalah 2,0 ppm. Berdasarkan kedua pernyataan mengenai nilai ambang batas tersebut, maka kadar merkuri pada tanah di lokasi penambangan emas tradisional di daerah Sangon, Kulon Progo sudah melampaui nilai ambang batas.

2.4 Stabilisasi/Solidifikasi

Stabilisasi/Solidifikasi merupakan salah satu teknik remediasi *on site*. Stabilisasi merupakan teknik mereduksi potensi bahaya limbah dengan tidak merubah sifat fisik dari material yang diolah, sedangkan solidifikasi adalah teknik enkapsulasi limbah menjadi bentuk padat yang tidak menimbulkan reaksi kimia antara limbah dengan bahan pematat (Desogus, 2013).

Menurut EPA (2000), Stabilisasi adalah proses yang melibatkan reaksi kimia untuk mereduksi pelindian dan kelarutan limbah, sifat fisik dari limbah mungkin akan berubah dari proses stabilisasi. Solidifikasi diartikan sebagai proses enkapsulasi limbah menjadi bentuk solid dan bertujuan untuk membatasi migrasi kontaminan dengan mengurangi luas permukaan penyerapan lindi. Solidifikasi dapat dicapai dengan reaksi kimia antara limbah dan bahan pematat atau dengan proses mekanik. Teknologi S/S dipilih sebagai alternatif remediasi untuk *Superfund sites* di United States. Proses S/S dapat dicapai dengan penggunaan pengikat anorganik yang umum digunakan seperti semen *Portland*, *pozzolan*, dan campuran keduanya, *pozzolan* diartikan sebagai bahan yang mengandung silika atau bahan alumina yang mempunyai sifat seperti semen (EPA, 2006). *Pozzolan* yang digunakan dalam proses S/S dapat berupa kalsium klorida, *fly ash*, kapur, dan natrium silika yang dapat meningkatkan kuat tekan beton dan *leachability* logam berat (Singhal *et al.*, 2012)

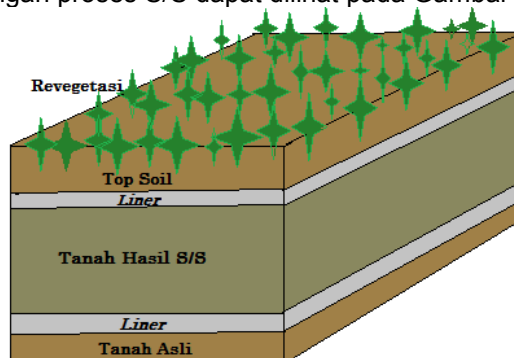
Tujuan dari stabilisasi/solidifikasi (S/S) menurut Utomo (2008) adalah membentuk padatan yang mudah penanganannya dan tidak meluluhkan kontaminan ke lingkungan. Produk dari proses S/S adalah produk yang aman dan dapat dimanfaatkan, seperti *paving block* dan batako. Menurut Antemir *et al.* (2010) tujuan dari S/S adalah untuk mereduksi mobilitas kontaminan beracun dengan cara meningkatkan pH dan mengikat kontaminan dalam matriks padat, serta meningkatkan sifat fisik dari kontaminan tersebut, yang terdiri dari kekuatan, daya tekan, permeabilitas, dan daya tahan.

Keuntungan dari proses S/S dibandingkan dengan teknik remediasi lainnya menurut Paria dan Yuet (2006) adalah:

- Biaya yang relatif rendah dan kemudahan dalam penerapan dan pengolahannya

- Mempunyai stabilitas fisik dan kimia jangka panjang yang baik
- Mempunyai kekuatan komprehensif yang baik
- Resisten terhadap biodegradasi
- Memiliki permeabilitas air yang rendah

Pada penerapan teknik remediasi *on site*, dilakukan dengan proses pengangkatan tanah, peletakkan *liner*, tanah diletakkan di atas *liner* kemudian dicampur dengan semen dan *pozzolan*, setelah proses S/S selesai pada waktu 28 hari diletakkan *liner* diatas tanah hasil S/S, kemudian diberikan *top soil* di atas *liner* dan dilakukan revegetasi. Ilustrasi dari hasil remediasi *on site* dengan proses S/S dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.2 Ilustrasi Hasil Remediasi dengan S/S

2.5 Abu terbang (Fly Ash)

Fly ash merupakan residu material dalam butiran halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang dihaluskan pada suatu pembangkit listrik, yang terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3) (Marzuki, 2007). *Fly ash* dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar (24°C - 27°C) dengan adanya media air membentuk senyawa yang bersifat mengikat (Suarnita, 2011).

Menurut ASTM (American Standard Testing and Material) C618 (1994) *fly ash* dibagi menjadi 2 kelas yaitu *fly ash* kelas F dan *fly ash* kelas C. Perbedaan utama dari kedua *fly ash* tersebut adalah banyaknya unsur kalsium, silika, aluminium, dan kadar besi dalam ash.

- a. *Fly Ash* kelas F merupakan *Fly Ash* yang diproduksi dari pembakaran batu bara *antrachite* atau *bituminous*, mempunyai sifat *pozzolanic* dan untuk mendapatkan sifat *cementitious* harus diberi penambahan *quick lime*, *hydrated lime*, atau semen. *Fly Ash* kelas F memiliki kadar kapur yang rendah ($\text{CaO} < 10\%$).
- b. *Fly Ash* kelas C merupakan *Fly Ash* yang diproduksi dari pembakaran batu bara lignite atau *subbituminous* yang mempunyai sifat *pozzolanic* serta *self cementing* (kemampuan untuk mengeras dan menambah kekuatan apabila bereaksi dengan air tanpa penambahan kapur). *Fly Ash* kelas C biasanya memiliki kadar kapur (CaO) $> 10\%$.

Menurut SK SNI T- 15-1990-03 (Departemen Pekerjaan Umum, 1990), terdapat jenis *fly ash* kelas N disamping kelas C dan kelas F yang disebutkan di atas, *fly ash* kelas N adalah hasil kalsinasi dari pozzolan alam seperti tanah diatomose, shale (serpih), tuft, dan batu apung.

Kandungan kimia dari kedua jenis *fly ash* yang disebutkan berdasarkan ASTM C618 (1994) terdapat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kandungan Kimia *Fly Ash*

Kandungan Kimia	<i>Fly Ash</i> Kelas F (%) ^A	<i>Fly Ash</i> Kelas C (%) ^A	Persyaratan Kimia <i>Fly Ash</i> ^B
SiO_2	52	35	minimum 70 %
Al_2O_3	23	18	-
Fe_2O_3	11	6	minimum 70 %
CaO	5	21	-
SO_3	0,8	4,1	maksimal 5 %
Na_2O	1,0	5,8	maksimal 1.5 %
K_2O	2,0	0,7	-
Hilang Pijar	2,8	0,5	maksimal 6 %

Sumber: ^AASTM C618, 1994

^BSNI 03-2460-1991 tentang Spesifikasi Abu Terbang sebagai Bahan Tambahan untuk Campuran Beton

Fly ash dapat digunakan sebagai *pozzolan* untuk pengganti semen pada campuran beton. Menurut ASTM C618 (1994) *Fly ash* kelas F umumnya digunakan pada dosis 15% - 25% dari massa semen dan *Fly ash* kelas C digunakan pada dosis 15% - 40% dari massa semen. Menurut Suarnita (2011) dosis *fly ash*

jika digunakan sebagai pengganti semen *Portland* umumnya berkisar antara 10% - 35% dari berat semen.

Pada penelitian ini digunakan *fly ash* yang berasal dari PT.Jawa Power (PLTU) Paiton. Hasil analisis yang dilakukan oleh Subekti (2012), kandungan kimia *fly ash* PLTU Paiton dinyatakan dalam bentuk senyawa oksida seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , SO_3 , dan kadar air. *Fly ash* PLTU Paiton ini termasuk *fly ash* kelas F karena kadar kapur (CaO) yang terkandung di dalamnya kurang dari 10% (ASTM C618, 1994). Kandungan kimia *fly ash* PLTU Paiton terdapat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kandungan Kimia Fly Ash PLTU Paiton

Kandungan Kimia	% Massa
SiO_2	46,0
Al_2O_3	6,35
Fe_2O_3	10,11
CaO	6,79
MgO	11,63
Na_2O	2,15
SO_3	2,77
H_2O	0,12

Sumber: Subekti, 2012

2.6 Semen Portland

Berdasarkan SNI 15-2049-2004 (BSN, 2004), semen *Portland* merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *Portland* yang terdiri dari kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan dapat ditambah dengan bahan tambahan lain. Menurut Marzuki (2007) semen adalah perekat hidrolik, yang berarti senyawa-senyawa dalam semen dapat bereaksi dengan air membentuk zat baru yang dapat mengikat benda padat lainnya membentuk kesatuan massa yang padat dan keras.

Berdasarkan SNI 15-2049-2004 (BSN, 2004), semen *Portland* dibagi menjadi lima jenis dilihat dari segi penggunaannya, yaitu:

a. Semen *Portland* jenis I

Semen *Portland* ini mempunyai sebutan *Ordinary Portland Cement*, yaitu semen untuk penggunaan umum yang tidak

memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

- b. Semen *Portland* jenis II
Semen *Portland* ini mempunyai sebutan *Moderat Heat Portland Cement*, yaitu semen yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c. Semen *Portland* jenis III
Semen *Portland* ini mempunyai sebutan *High Early Portland Cement*, yaitu semen yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Semen *Portland* jenis IV
Semen *Portland* ini mempunyai sebutan *Low Heat Portland Cement*, yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- e. Semen *Portland* jenis V
Semen *Portland* ini mempunyai sebutan *Sulfate Resistance Portland Cement*, yaitu semen yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Kandungan terbesar dalam semen adalah kandungan CaO yang memiliki fungsi dalam proses perekatan atau pengikatan, sedangkan SiO₂ berfungsi sebagai bahan pengisi (*filler*), dimana kedua bahan ini memiliki peranan dalam menentukan kekuatan semen. Al₂O₃ memiliki fungsi dalam mempercepat proses pengerasan (Wiryasa dan Sudarsana, 2009). Kandungan kimia semen *Portland* terdapat pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Kandungan Kimia Semen *Portland*

Kandungan Kimia	Kadar (%)
CaO	38,0 – 67,0
SiO ₂	16,0 – 26,0
Al ₂ O ₃	4,0 – 8,0
Fe ₂ O ₃	2,0 – 5,0
MgO	1,0 – 5,0
Na ₂ O ₃	0,0 – 3,0
TiO ₂	0,0 – 0,5
Na ₂ O + K ₂ O	0,6 – 1,0
SO ₃	0,1 – 25

Kandungan Kimia	Kadar (%)
P ₂ O ₅	0,0 – 1,5
Hilang pijar	0,5 – 3,0

Sumber: Mursito, 2004

Menurut Trihadiningrum (2000), keuntungan proses stabilisasi/solidifikasi dengan semen adalah:

- Ekonomis.
- Teknik prosesing mudah.
- Sifat basa dari semen dapat menetralkan limbah asam dan membentuk garam karbonat dan hidroksida dari logam berat.
- Tidak membutuhkan proses pengeringan yang ekstensif.

Sedangkan kerugian dari proses stabilisasi/solidifikasi dengan semen adalah:

- Membutuhkan bahan dalam jumlah besar.
- Semen merupakan produk industri yang energi-intensif.
- Proses solidifikasi dapat terganggu oleh limbah organik.
- Volume dan berat limbah menjadi besar.
- Produk dapat mengalami pelindian dalam suasana asam, sehingga masih memerlukan liner untuk pembuangan akhir.

2.7 Uji kuat tekan

Uji kuat tekan menurut SNI 03-1974-1990 diartikan sebagai besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (BSN, 1990). Penentuan uji kuat tekan untuk mortar semen *Portland* mengacu pada ASTM C 109/109 M-02 *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar*. Alat uji kuat tekan yang digunakan dalam proses S/S adalah *Toorse Universal Testing Machine* seperti yang terdapat ada Gambar 2.2. Berdasarkan SNI 03-1974-1990 (BSN, 1990), pelaksanaan pengujian kuat tekan beton harus mengikuti beberapa tahapan sebagai berikut:

- Letakkan benda uji pada mesin tekan secara centris.
- Jalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 sampai 4 kg/cm² per detik.

- c. Lakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur dan catatlah beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.
- d. Gambar bentuk pecah dan catatlah keadaan benda uji.



Gambar 2.3 Toorse Universal Testing Machine

Ketentuan waktu untuk uji kuat tekan terdapat pada Tabel 2.4

Tabel 2. 4 Toleransi Waktu Pengujian Kuat Tekan

Umur Mortar	Toleransi yang diperbolehkan
24 jam	± 0,5 jam
3 hari	± 1 jam
7 hari	± 3 jam
28 hari	± 12 jam

Sumber: SNI 15-2049-2004, (BSN, 2004)

Berdasarkan Munir (2008) kuat tekan dapat dihitung menggunakan rumus dibawah ini:

$$F = P/A \quad (2.1)$$

Keterangan: F = Kuat tekan (Kg/cm²)

P = Beban maksimum (Kg)

A = Luas permukaan benda (cm²)

Hasil uji kuat tekan pada benda uji dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu faktor air semen (FAS), Umur beton, jenis semen, jumlah semen, dan sifat agregat (Wijaya, 2005). Menurut Suparjo (2005), air yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan semen hanya sekitar 25 persen dari berat semen. Semakin tinggi FAS dalam proses S/S maka semakin rendah nilai kuat tekan. Hal ini

terjadi karena setiap penambahan FAS terdapat kelebihan air yang tidak bereaksi dengan semen, akibatnya terjadi *bleeding* pada pembuatan benda uji sehingga terdapat rongga pada beton dan nilai kuat tekan menurun (Nugroho dan Widodo, 2010). Baku mutu kuat tekan untuk S/S tanah tercemar menurut US EPA adalah 35 ton/m² (Ganjidoust *et al.*, 2009). Nilai FAS atau *w/c ratio* dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$FAS = \frac{\text{massa air (g)}}{\text{massa semen (g)}} \quad (2.2)$$

Saat dilakukan uji kuat tekan pada benda uji yang melebihi waktu toleransi berdasarkan ketentuan pada Tabel 2.4, dapat dikorelasikan dengan nilai korelasi umur beton, sehingga nilai kuat tekan yang didapat dapat merepresentasikan benda uji dengan waktu *curing* 28 hari. Nilai korelasi umur beton atau mortar terdapat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Nilai Korelasi Umur Beton

Umur Beton (hari)	Nilai Korelasi
27	1,00
28	1,00
29	1,01
30	1,01
31	1,02
32	1,02

2.8 Uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure

Hasil dari limbah yang telah stabil biasanya diukur kelarutannya dan tes ekstraksi. Tes kelarutan dilihat dari seberapa potensial limbah yang telah stabil tersebut melepaskan kontaminan ke lingkungan. Uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) cocok digunakan untuk menentukan perpindahan dari senyawa organik dan anorganik dalam air, padatan, maupun berbagai jenis limbah.

Menurut Gailius dkk (2010), Uji TCLP menggunakan proses ekstraksi dimana setiap logam berat atau kontaminan akan terlepas. Prosedur uji TCLP mengacu pada US EPA Method 1311. Baku mutu TCLP untuk logam merkuri berdasarkan Peraturan Pemerintah No.101 Tahun 2014 adalah 0,3 mg/L. Uji TCLP adalah

tes *batch*-ekstraksi. Produk S/S akan dihancurkan menjadi ukuran partikel yang lebih kecil dari 9,5 mm. Dua pilihan cairan ekstraksi asam *buffered* (asam asetat) yang digunakan dalam proses TCLP, tergantung pada alkalinitas dan kapasitas *buffering* dari limbah (US-EPA, 1992).

2.9 Teknik perawatan mortar (Curing)

Curing merupakan suatu langkah atau tindakan memberi kesempatan pada semen untuk meningkatkan kekuatannya secara wajar dan sempurna (Meynarti, 2008). Kegiatan *curing* ini dapat memaksimalkan kekuatan yang dihasilkan oleh mortar (Factsha dkk, 2008). Menurut Syamsuddin dkk (2011), tujuan dari perawatan (*curing*) beton yaitu:

- a. Mencegah kehilangan *moisture* pada beton.
- b. Mempertahankan suhu yang baik dalam durasi waktu tertentu (diatas suhu beku dan dibawah 50⁰ C).

Apabila tidak dilakukan tindakan *curing*, maka kekuatan mortar akan melemah dan secara fisik mortar akan terlihat retak-retak (Factsha dkk, 2008). Menurut Syamsuddin dkk (2011), terdapat beberapa jenis perawatan beton antara lain:

- a. *Steam Curing*
Metode ini dilakukan untuk memperoleh kekuatan awal.
- b. Penyemprotan/*Fogging*
Metode ini baik untuk kondisi dengan suhu diatas suhu beku dan humiditas rendah.
- c. Penggenangan/Perendaman
Metode ini ideal untuk mencegah hilangnya *moisture* dan mempertahankan suhu yang seragam.
- d. Lembaran Plastik
Metode ini menggunakan lapisan *polythylene* dengan ketebalan 4 mm, yang memiliki kelebihan sebagai berikut: ringan, efektif sebagai penghalang hilangnya *moisture*, dan mudah diterapkan.
- e. Penutup Basah
Metode ini menggunakan bahan yang dapat mempertahankan *moisture* seperti burlap (karung goni) yang dibasahi.
- f. *Curing Compound*
Metode ini akan menghasilkan lapisan tipis pada permukaan untuk menghalangi adanya penguapan.

2.10 Pembuatan Sampel Tanah Buatan

Pada penelitian Falciglia dan Vagliasindi (2013), sampel tanah dibuat dengan cara mencampurkan tanah berpasir dan lempung dengan konsentrasi Pb bervariasi, yaitu 1000, 2000, 4000, 8000, 15000, dan 25000 mg/kg. Untuk pencampuran tersebut digunakan *deionized water* dan Timbal (II) Nitrat. Setelah proses tersebut, sampel disimpan dalam wadah tertutup dan disimpan dalam ruangan gelap dengan suhu 4°C selama satu bulan.

Menurut Kogbara *et al.* (2013), persiapan sampel tanah tercemar dapat dilakukan dengan cara mencampur tanah dengan larutan mengandung logam yang dibuat dengan *deionized water*. Kemudian sampel disimpan pada wadah tertutup selama 2 jam. Materi pengikat yaitu semen Portland dan *Fuel ash* yang dicampur bersamaan dengan *deionized water* ditambahkan ke sampel tanah dengan dosis 5%, 10%, dan 20%.

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini, dan berfungsi untuk mempermudah pelaksanaan penelitian ini. Selain itu, penelitian terdahulu dapat digunakan sebagai pembandingan dalam proses S/S yang akan dilakukan. Beberapa penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu

No.	Sumber	Hasil Penelitian
1	Falciglia dan Vagliasindi, 2013	Komposisi semen <i>Portland</i> dan <i>fly ash</i> (SP:FA) pada S/S tanah terkontaminasi Pb adalah 1:1, dan rasio tanah tercemar (T) dengan campuran pozzolan (C) yaitu SP dan FA adalah (T:C) 3,3:1, 4:1, dan 5:1. Selanjutnya rasio pencampuran air (A) dengan campuran kering (CK) T dan C adalah (A:CK) 0,42:1
2	Desogus <i>et al.</i> , 2013	Proses S/S menunjukkan adanya hubungan antara mobilitas dari kontaminan logam berat dengan pH. Penggunaan semen menaikkan sifat basa, sebagai penentuan pelepasan logam berat dalam lindi.

No.	Sumber	Hasil Penelitian
3	Rommel dan Rusdianto, 2012	Perawatan benda uji dilakukan dengan cara mengalirkan uap panas ke dalam beton (<i>steam curing</i>). Nilai kuat tekan dengan kandungan fly ash 7,5% dan adalah 702 kg/cm ² dan 15% adalah 600 kg/cm ² . Penurunan kekuatan beton ini didukung oleh penggunaan jumlah air atau FAS pada campuran beton. Semakin besar pemakaian fly ash, maka faktor air semen yang digunakan juga meningkat. Faktor air semen untuk kandungan fly ash 7,5%, 15%, dan 30% adalah 0,29; 0,32; dan 0,39.
4	Shalahuddin, 2009	Jumlah benda uji yang digunakan adalah 24 buah. Setiap benda uji memiliki kadar fly ash yang berbeda yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15%. Uji kuat tekan dilakukan setelah 14 dan 28 hari. Penggunaan fly ash 5% terhadap berat semen dapat meningkatkan nilai kuat tekan sebesar 28,6%. Sebaliknya, penggunaan 10% dan 15% fly ash terhadap berat semen menurunkan nilai kuat tekan. Pada saat penambahan fly ash 5%, Ca(OH) ₂ terikat seluruhnya dengan SiO ₂ . Sebaliknya, penggunaan fly ash lebih dari 5% akan menghasilkan SiO ₂ sebagai material halus bebas. Hal inilah yang menyebabkan penurunan nilai kuat tekan.
5	Meynarti, 2008	Dalam penelitian uji efektifitas solidifikasi dengan menggunakan fly ash digunakan variasi komposisi semen portland:fly ash sebagai berikut: 75:25;50:50;25:75. Didapatkan nilai kuat tekan terendah terdapat pada komposisi 25:75 sebesar 93 ton/m ² , sedangkan nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada komposisi 75:25 sebesar 138 ton/m ² . Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak fly ash yang diberikan maka akan menurunkan nilai kuat tekan benda uji.

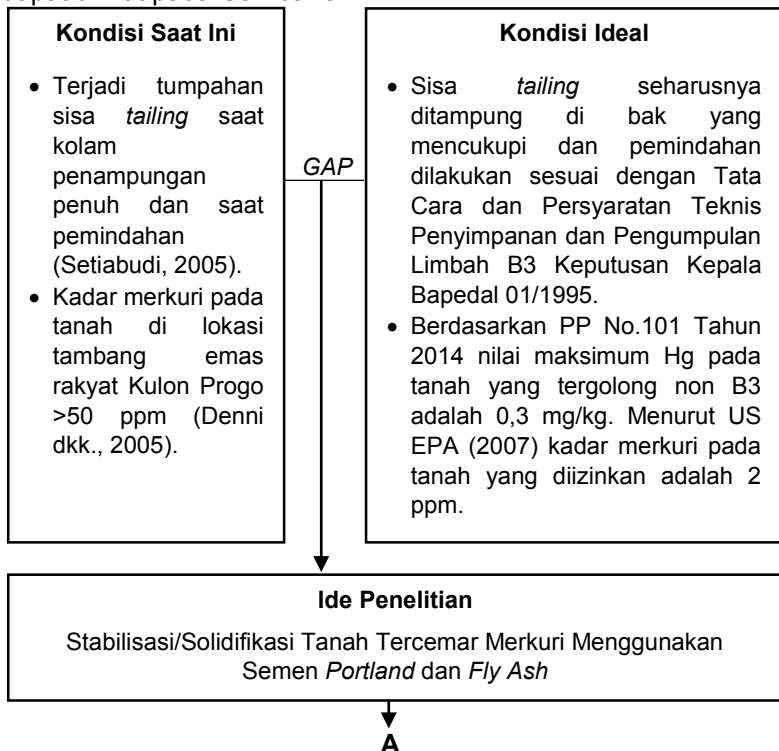
BAB III METODE PENELITIAN

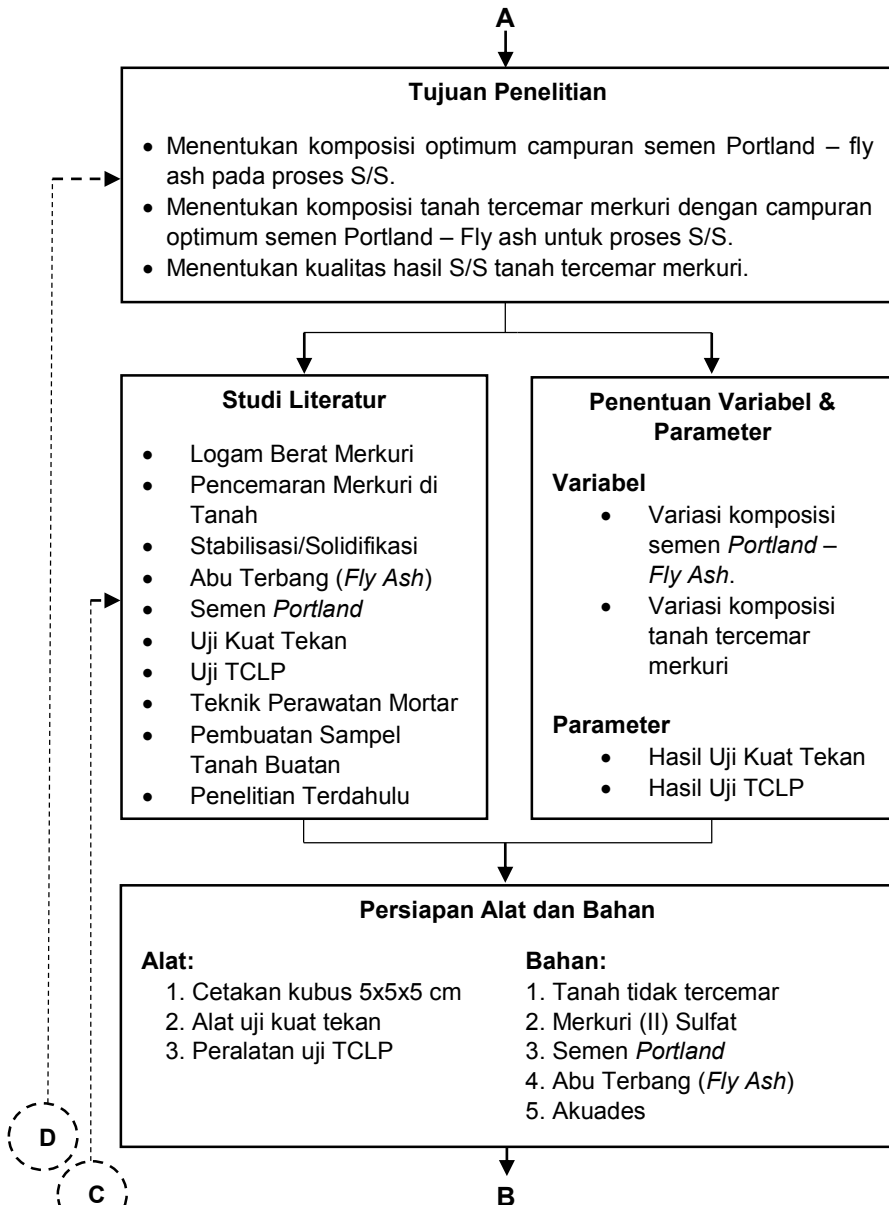
3.1 Kerangka Penelitian

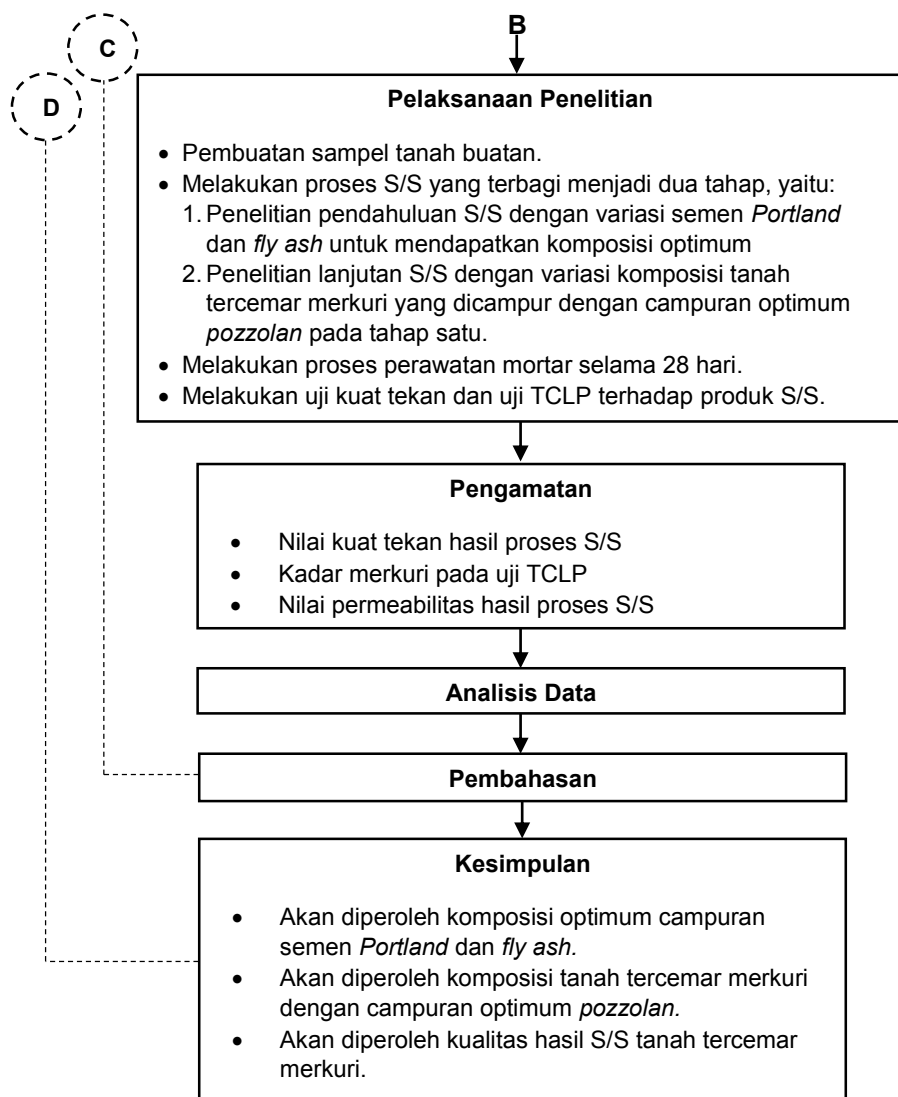
Kerangka penelitian ini disusun dengan tujuan:

1. Sebagai gambaran awal tahapan penelitian dan penulisan laporan tugas akhir secara sistematis.
2. Mengetahui tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian.
3. Memudahkan dalam mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian demi tercapinya tujuan penelitian

Berdasarkan ide yang telah dibuat, maka kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.







Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini menjelaskan secara rinci tahapan dalam penelitian yang telah disusun dalam kerangka penelitian. Tahapan penelitian dapat memudahkan pemahaman yang dijelaskan melalui deskripsi tiap tahapan. Berikut merupakan tahapan penelitian yang dilakukan:

1. Ide Penelitian

Ide penelitian didapatkan dari *gap analysis* dengan membandingkan kondisi kekinian dan kondisi ideal. Ide penelitian ini adalah Stabilisasi/Solidifikasi (S/S) tanah tercemar merkuri menggunakan semen *Portland* dan *Fly ash*.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendukung, membandingkan, dan meningkatkan pemahaman terhadap penelitian yang dilakukan. Sumber literatur yang digunakan adalah jurnal internasional, jurnal nasional, *text book*, makalah, seminar, tugas akhir atau tesis yang berhubungan dengan penelitian.

3. Penentuan Variabel

Variabel pada penelitian tahap satu adalah variasi komposisi semen *Portland* dan *Fly ash*, yang selanjutnya disebut *binder*, terdapat pada Tabel 3.1. Variabel pada penelitian tahap dua adalah variasi komposisi tanah tercemar merkuri yang dicampur dengan campuran optimum *binder* pada tahap satu. Variabel penelitian tahap dua dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian Tahap 1

Nama Benda	Perbandingan Binder (%)	Semen Portland (g)	Fly Ash (g)
A	100 : 0	300	0
B	90 : 10	270	30
C	80 : 20	240	60
D	70 : 30	210	90
E	60 : 40	180	120
F	50 : 50	150	150

Tabel 3.2 Variabel Penelitian Tahap 2

Nama Benda	Perbandingan Binder : Tanah (%)	Binder dengan komposisi optimum (g)	Tanah Tercemar Merkuri (g)
A	100 : 0	300	0
B	90 : 10	270	30
C	80 : 20	240	60
D	70 : 30	210	90
E	60 : 40	180	120
F	50 : 50	150	150

4. Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Cetakan kubus yang terbuat dari baja dengan sisi 5 cm dan *mixer* pasta.
- Cangkul, sekop, dan kantung plastik.
- Alat uji kuat tekan *Toorse Universal Testing Machine Type RAT-200 CAP 200-tf*
- Peralatan uji TCLP: pH meter Type BP 3001, pipet ukur, *rotary agitator* Model SQ192, kertas saring Whatman.
- Peralatan uji konsistensi normal yaitu Timbangan analitik dengan berat maksimum 3000 g, Wadah pengaduk pasta, Gelas ukur akuades kapasitas 100 mL, Alat *vicat* (yang terdiri dari: batang *vicat*, cetakan berbentuk kerucut terpancung dengan diameter atas 60 mm, diameter bawah 70 mm, dan tinggi 40 mm, dan pelat kaca dengan ukuran 102,5 x 102,5 x 50 mm dan 110 x 110 x 20 mm).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- *Ordinary Portland Cement*, Fly Ash, Tanah tercemar buatan, Merkuri (II) Sulfat, akuades
- Bahan untuk uji TCLP yaitu akuades, asam asetat, dan NaOH

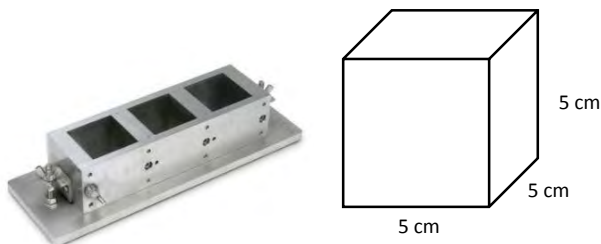
5. Pembuatan Sampel Tanah Tercemar

Sampel tanah diambil dari *top soil* di daerah Sangon Kabupaten Kulon Progo yang tidak tercemar merkuri (bukan lokasi pengolahan biji emas). Tanah tersebut digiling dan diayak hingga ukuran partikel <2 mm (Kogbara *et al.*,2013)

kemudian dikeringkan. Setelah itu, dicampurkan logam Merkuri (II) Sulfat hingga kadar 150 mg/kg pada tanah yang kering, kemudian disimpan pada wadah yang tertutup. Perhitungan massa Merkuri (II) Sulfat yang dibutuhkan terdapat pada lampiran A.

6. Pembuatan Benda Uji

Sebelum benda uji dibuat, dilakukan uji konsistensi normal untuk mengetahui kebutuhan air pada tiap komposisi benda uji. Benda uji dibuat dengan cara mencampur semen Portland dan *fly ash* kemudian ditambahkan akuades sebanyak hasil uji konsistensi normal sampai berbentuk adonan pasta. Pencampuran dilakukan dengan tangan didalam sebuah wadah. Kemudian adonan dimasukan ke cetakan berbentuk kubus ukuran 5x5x5 cm yang disebut *Specimen Mould*. Gambar cetakan uji yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.2. Adonan ditekan di seluruh bagian cetakan sebanyak 25 kali untuk memastikan adonan memadat diseluruh bagian cetakan dan tidak ada rongga pada benda uji. Kemudian bagian atas benda uji dihaluskan dan diratakan mengikuti bentuk cetakan. Massa masing-masing benda uji adalah 300 g. Benda uji yang dibuat pada tahap satu dan dua masing-masing sebanyak enam buah, dilakukan pengulangan dua kali sehingga benda uji yang dibuat tiap tahap adalah dua belas buah.



Gambar 3.2 Specimen Mould

7. Perawatan Mortar (*Curing*)

Perawatan mortar dilakukan dengan cara menjaga mortar agar tetap lembab untuk mencegah terjadinya retak pada benda uji.

Mortar diletakkan pada suhu ruang selama 28 hari. Pada penelitian ini dilakukan *moisture curing* atau penutup basah, yaitu dengan cara meletakkan benda uji di atas bak berisi air tetapi tidak bersentuhan dengan air agar meminimisasi peluluhan logam berat, dan menutup benda uji dengan kain basah.

8. Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan bertujuan untuk mengetahui besaran kuat tekan yang dapat diterima oleh benda uji dan benda kontrol. Berdasarkan Keputusan Kepala BAPEDAL No. 03 tahun 1995 Tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun, kuat tekan yang dapat diterima oleh benda uji dan benda kontrol minimum 10 ton/m². Pada proses S/S untuk tanah tercemar memiliki baku mutu kuat tekan khusus menurut US EPA yaitu 35 ton/m² (Ganjidoust *et al.*, 2009). Uji kuat tekan ini dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS, dengan menggunakan alat bernama *Toorse Universal Testing Machine Type RAT-200 CAP 200 tf*. Pengujian kuat tekan ini dilakukan pada benda uji dan benda kontrol yang sudah dilakukan *curing* selama 28 hari dengan metode *moisture curing*. Prosedur uji kuat tekan mengacu pada ASTM C109 tentang *compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2 inch or 50 mm)* yang dapat dilihat pada lampiran A. Uji kuat tekan akan dilakukan pada 24 benda uji pada tahap satu dan tahap dua. Perhitungan nilai kuat tekan pada benda uji dengan umur lebih dari 28 hari, perlu dikorelasikan dengan nilai korelasi umur beton yang terdapat pada Tabel 2.5.

9. Uji TCLP dan Kadar Merkuri

Sebelum proses S/S, dilakukan uji total konsentrasi merkuri pada sampel tanah yang dilakukan di Laboratorium Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BBTKLPP) Surabaya. Baku mutu total konsentrasi (TK-B) Hg pada tanah sesuai PP No.101 Tahun 2014 adalah 75 mg/kg. Uji TCLP dilakukan untuk mengetahui tingkat konsentrasi toksisitas yang terdapat dalam limbah. Prosedur uji TCLP dapat dilihat pada lampiran A. Kemudian dilakukan pengukuran kadar Hg pada hasil ekstrak sampel benda uji yang dilakukan di Laboratorium Baristand Surabaya. Metode

uji yang digunakan mengacu pada SNI 6989.78 : 2011 mengenai pengukuran raksa (Hg) pada air dan air limbah menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Baku mutu yang digunakan adalah baku mutu TCLP-B parameter Hg sebesar 0,05 mg/L yang mengacu pada Peraturan Pemerintah No. 101 tahun 2014.

10. Analisis Data

Pengujian yang dilakukan terhadap 24 benda uji S/S adalah uji kuat tekan dan uji TCLP. Analisis data yang dilakukan adalah analisis komparatif. Pada tahap pertama komposisi optimum Semen *Portland* dan *Fly ash* ditentukan berdasarkan nilai kuat tekan yang memenuhi baku mutu menurut US EPA yaitu 35 ton/m² dengan penggunaan *fly ash* terbanyak. Pada tahap kedua akan didapatkan nilai kuat tekan dan nilai TCLP. Nilai TCLP kemudian dibandingkan dengan baku mutu menurut Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 untuk logam merkuri yaitu sebesar 0,05 mg/kg.

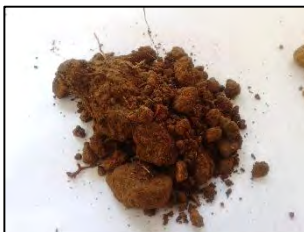
11. Kesimpulan

Penarikan kesimpulan merupakan tahap akhir dari proses penelitian. Berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan selanjutnya ditarik kesimpulan yang dibandingkan dengan tujuan penelitian. Sehingga pada kesimpulan ini akan diperoleh komposisi optimum semen *Portland* – *Fly ash* dalam proses S/S dan komposisi tanah tercemar merkuri yang dicampur dengan campuran optimum semen *Portland* – *Fly ash* pada tahap satu serta kualitas S/S tanah tercemar merkuri.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Sampel Tanah

Sampel tanah yang digunakan adalah sampel tanah tidak tercemar yang diambil dari sekitar lokasi penambangan emas di Desa Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Titik *sampling* berada pada lahan yang memiliki elevasi lebih tinggi dari sumber limbah yaitu kolam penampungan sisa *tailing*. Secara fisik, sampel tanah pada Gambar 4.1 terlihat seperti lempung, berwarna coklat, dan dalam keadaan sedikit basah.



Gambar 4.1 Sampel Tanah Sebelum Dikarakterisasi

Karakterisasi tanah lainnya yang dilakukan adalah analisis pembagian butir, pH, kadar air dan total konsentrasi Hg. Hasil analisis pembagian butir, yang mengacu pada ASTM D422 – *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*, dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Analisis Pembagian Butir Sampel Tanah

Jenis Butiran	Ukuran Partikel (mm)	Kandungan (%)
Kerikil	$\geq 4,76$	1,57
Pasir		39,36
- Kasar	$\geq 2,00$	
- Sedang	$\geq 0,425$	
- Halus	$\geq 0,075$	
Lanau	$\geq 0,0055$	34,46
Lempung	$\geq 0,0001$	24,61

Sampel tanah memiliki kandungan lanau sebanyak 34,46%, dan lempung 24,61%, sehingga dapat dikatakan sampel

tanah ini bertekstur lempung. Lanau merupakan butiran yang lebih halus daripada pasir dan lebih kasar daripada lempung. Berdasarkan hasil analisis pH, sampel tanah memiliki pH 5,43. Kadar air pada tanah adalah sebesar 15,6 %, prosedur dan perhitungan kadar air terdapat pada Lampiran A. Analisis total konsentrasi Hg pada sampel tanah dilakukan di Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BBTKLPP) Surabaya. Hasil total konsentrasi Hg pada sampel tanah adalah 0,05 mg/kg. Baku mutu total konsentrasi (TK-B) Hg pada tanah sesuai PP No.101 Tahun 2014 adalah 75 mg/kg, sehingga tanah tersebut dapat dikatakan tidak tercemar Hg dari tumpahan sisa *tailing*.

4.2 Penelitian Tahap I

Penelitian tahap I bertujuan menentukan komposisi optimum dari campuran *binder* yaitu semen Portland dan *fly ash*. Pada penelitian tahap pertama ini dilakukan uji konsistensi normal dari campuran *binder*, pembuatan benda uji, *curing*, dan uji kuat tekan.

4.2.1 Uji Konsistensi Normal Tahap I

Uji konsistensi normal bertujuan untuk mengetahui jumlah air yang dibutuhkan dalam suatu mortar. Konsistensi normal tercapai saat batang *vicat* yang diletakkan diatas permukaan pasta semen mengalami penurunan sedalam 10 mm dalam waktu 30 detik. Uji konsistensi normal mengacu pada ASTM C187-11 tentang *Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste*. Hasil dari uji konsistensi normal tahap I terdapat pada Tabel 4.2. Dihitung pula nilai faktor air semen (FAS) berdasarkan rumus 2.2.

Tabel 4.2 Hasil Uji Konsistensi Normal Tahap I

Nama Benda	Binder (%)	Semen Portland (g)	Fly Ash (g)	Jumlah Air (mL)	FAS
A	100 : 0	300	0	83	0,28
B	90 : 10	270	30	83	0,28
C	80 : 20	240	60	82,5	0,28
D	70 : 30	210	90	70	0,23
E	60 : 40	180	120	68	0,23
F	50 : 50	150	150	68	0,23

Berdasarkan hasil uji konsistensi, dapat diketahui semakin banyak *fly ash* yang ditambahkan maka semakin sedikit air yang dibutuhkan saat uji konsistensi normal. Hal ini dikarenakan *fly ash* yang digunakan tidak kering. Tingginya kadar air pada *fly ash* disebabkan oleh proses pengolahan *fly ash* di PT. Jawa Power, Paiton yang menggunakan metode *humidified ash* (PT.Jawa Power, 2013). Pada metode ini, ditambahkan air pada abu kemudian dialirkan ke bak penampung, kadar air pada abu dijaga antara 15-20 %, sehingga *fly ash* ini tidak terlalu kering. Shalahuddin (2009) menyatakan bahwa dengan adanya penambahan air pada *fly ash* dapat membentuk senyawa stabil yang sifatnya sama seperti semen. Keuntungan dari penggunaan *fly ash* pada campuran semen adalah mengurangi penggunaan air (Mughnie, 2010).

Jumlah air yang dibutuhkan tiap benda uji tidak berbeda jauh sehingga nilai FAS berkisar antara 0,28 sampai 0,23. Menurut Munir (2008), campuran semen membutuhkan air sekitar 0,25 dari berat semen untuk berhidrasi sempurna. Semakin banyak komposisi *fly ash* maka semakin kecil nilai FAS. Terdapat jumlah air yang sama pada dua komposisi *binder*, diperkirakan terjadi akibat suhu ruangan yang cukup tinggi sehingga air yang bercampur dengan semen mudah menguap. Adanya penguapan ini, mengakibatkan perlu ditambahkan air pada campuran *binder* agar mencapai konsistensi normal.

4.2.2 Pembuatan Benda Uji dan Curing Tahap I

Air yang digunakan untuk setiap benda uji adalah sebanyak hasil uji konsistensi normal. Setiap benda uji memerlukan semen Portland dan *fly ash* sebanyak 300 g, dengan variasi komposisi *binder* yang terdapat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Variasi Komposisi *Binder* Penelitian Tahap I

Nama Benda	Perbandingan <i>Binder</i> (%)	Semen Portland (g)	<i>Fly Ash</i> (g)
A	100 : 0	300	0
B	90 : 10	270	30
C	80 : 20	240	60
D	70 : 30	210	90
E	60 : 40	180	120
F	50 : 50	150	150

Pembuatan benda uji tahap I ini bertujuan untuk mengetahui komposisi optimum *binder* dengan melihat hasil uji kuat tekan benda uji setelah proses *curing* selama 28 hari. Benda uji dapat dilepas dari cetakan dalam waktu ± 12 jam, dengan tujuan semua bahan sudah memadat secara sempurna, lalu dilakukan *curing* selama 28 hari. Proses *curing* dilakukan dengan metode *moisture curing*, dengan cara meletakkan benda uji diatas bak berisi air, kemudian benda uji ditutup dengan kain basah. Metode ini dilakukan untuk meminimisasi pelindian logam berat pada benda uji.

4.2.3 Uji Kuat Tekan Tahap I

Uji kuat tekan tahap I dilakukan pada dua belas benda uji dari enam variasi komposisi *binder*. Setiap variasi komposisi dilakukan pengulangan sebanyak dua kali, dengan perlakuan yang sama. Perhitungan nilai kuat tekan mengacu pada rumus 2.1.

Nilai kuat tekan dari dua benda uji dengan komposisi sama dirata-ratakan karena kedua benda uji tersebut memiliki nilai kuat tekan yang berbeda. Pada pengujian kuat tekan, terdapat benda uji yang berumur lebih dari 28 hari, sehingga saat perhitungan nilai kuat tekan perlu dikorelasikan dengan nilai korelasi umur beton. Nilai korelasi umur beton terdapat pada Tabel 2.5. Perhitungan nilai kuat tekan terdapat pada Lampiran B, hasil perhitungan nilai kuat tekan terdapat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai Kuat Tekan Benda Uji Tahap I

Komposisi Semen : Fly Ash (%)	Nama Benda	Beban (kg)	Luas Perm. (cm ²)	Umur Benda (hari)	Korelasi Umur	Nilai Kuat Tekan (ton/m ²)	Rata-rata (ton/m ²)
100:0	A1	12140	25	30	1,01	4807,9	5473,3
	A2	15500	25	30	1,01	6138,6	
90:10	B1	17650	25	29	1,01	6990,1	7019,8
	B2	17800	25	29	1,01	7049,5	
80:20	C1	13750	25	28	1,00	5500,0	5540,0
	C2	13950	25	28	1,00	5580,0	

Komposisi Semen : Fly Ash (%)	Nama Benda	Beban (kg)	Luas Perm. (cm ²)	Umur Benda (hari)	Korelasi Umur	Nilai Kuat Tekan (ton/m ²)	Rata-rata (ton/m ²)
70:30	D1	14700	25	28	1,00	5880,0	5770,0
	D2	14150	25	28	1,00	5660,0	
60:40	E1	8600	25	28	1,00	3440,0	4430,0
	E2	13550	25	28	1,00	5420,0	
50:50	F1	13050	25	28	1,00	5220,0	5560,0
	F2	14750	25	28	1,00	5900,0	

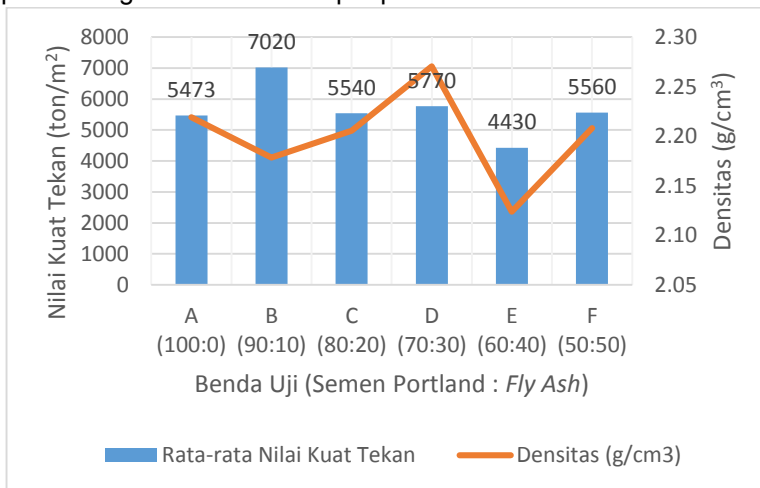
Berdasarkan tabel diatas, dapat dilihat nilai kuat tekan tertinggi dimiliki oleh benda uji B dengan komposisi *binder* 90:10 yaitu 7019,8 ton/m². Sedangkan nilai kuat tekan terendah dimiliki oleh benda uji E dengan komposisi *binder* 60:40 yaitu 4430 ton/m². Pada penelitian tahap I, semua nilai kuat tekan memenuhi baku mutu kuat tekan menurut US EPA yaitu 35 ton/m² (Ganjidoust *et al.*, 2009).

Nilai kuat tekan yang menurun seiring banyaknya *fly ash* yang digunakan. Menurut Shalahuddin (2009) dan Munir (2008), nilai kuat tekan beton meningkat saat ditambahkan abu terbang pada campuran semen, namun semakin banyak abu terbang yang ditambahkan justru menurunkan nilai kuat tekan beton. Adanya nilai kuat tekan yang berfluktuasi, diakibatkan oleh nilai FAS yang tidak menurun secara stabil seiring bertambahnya *fly ash* yang digunakan. Menurut Munir (2008), proses hidrasi akan berlangsung selama masih ada air yang belum terhidrasi, semakin banyak proses hidrasi yang terjadi maka akan meningkatkan kekuatan benda uji. Fluktuasi nilai kuat tekan juga diakibatkan adanya banyak rongga pada benda uji. Rongga pada benda uji disebabkan oleh kurang optimalnya proses pencetakan dan pemadatan, sehingga menyebabkan berat benda uji berkurang. Apabila berat benda uji berkurang, mengakibatkan densitas dari benda uji semakin kecil. Data densitas dari setiap benda uji terdapat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Densitas Benda Uji Tahap I

Komposisi Semen:Fly Ash	Nama Benda	Berat Benda (g)	Volume (cm ³)	Densitas (g/cm ³)
100 : 0	A	276,8	125	2,21
90 : 10	B	273,1	125	2,18
80 : 20	C	275,1	125	2,20
70 : 30	D	279,3	125	2,23
60 : 40	E	263,5	125	2,11
50 : 50	F	274,6	125	2,20

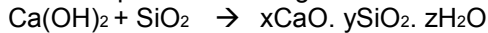
Berdasarkan tabel diatas, dapat dibuat grafik perbandingan nilai kuat tekan dengan densitas benda uji. Grafik perbandingan tersebut terdapat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Perbandingan Nilai Kuat Tekan dengan Densitas Benda Uji Tahap I

Berdasarkan grafik diatas, nilai kuat tekan berbanding lurus dengan densitas benda uji. Semakin kecil nilai densitas, maka nilai kuat tekan semakin rendah. Hal ini berlaku pada semua benda uji kecuali benda uji B. Pada benda uji B, hubungan nilai kuat tekan dan densitas berbanding terbalik, terjadi peningkatan kuat tekan saat densitas benda uji rendah. Menurut Shalahuddin (2009), peningkatan kuat tekan pada campuran semen dengan *fly ash* pada komposisi tertentu terjadi akibat optimalnya ikatan

Ca(OH)_2 yang berasal dari proses hidrasi semen dan SiO_2 yang berasal dari *fly ash*. Reaksi tersebut menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (C-H-S) dengan sifat *pozzolanic*. Secara umum reaksi kimia dapat ditulis sebagai berikut:



(dengan x, y, dan z adalah nilai ekuivalensi)

Pada penelitian ini, ikatan Ca(OH)_2 dan SiO_2 optimal terjadi pada komposisi 90:10. Hal ini diperkuat dengan data karakteristik *fly ash*, yang bersal dari PT.Jawa Power, Paiton, yang memiliki kandungan SiO_2 cukup banyak yaitu 46% (Subekti, 2012). Shalahuddin (2009) menambahkan, apabila semakin banyak *fly ash* yang dicampur dengan semen, maka akan terdapat butiran halus SiO_2 bebas yang akan mengurangi kuat tekan beton.

4.3 Penelitian Tahap II

Penelitian tahap II bertujuan menentukan komposisi optimum campuran tanah tercemar dengan *binder*. Pada penelitian tahap II ini dilakukan persiapan sampel tanah tercemra, uji konsistensi normal, pembuatan benda uji, *curing*, uji kuat tekan dan uji TCLP. Pada tahap ini, telah ditentukan komposisi optimum semen Portland dan *fly ash* pada tahap I, yaitu pada perbandingan 50:50. Komposisi ini dipilih karena pada kondisi ini nilai kuat tekan benda uji masih memenuhi baku mutu dengan penggunaan *fly ash* terbanyak.

4.3.1 Persiapan Sampel Tanah Tercemar Buatan

Pada proses stabilisasi/solidifikasi (S/S), sampel tanah tercemar dibuat dengan menambahkan logam Hg dengan konsentrasi 150 mg/kg. Sebelum ditambahkan logam Hg, tanah dikeringkan dahulu dengan oven suhu 80°C kemudian dilakukan penggilingan dengan alat *Bond Ball Mill* dengan kecepatan 56 rpm selama ± 3 jam, dengan tujuan mendapatkan ukuran partikel tanah yang lebih halus. Semakin halus ukuran partikel bahan S/S maka akan meningkatkan mutu produk S/S karena butiran halus tersebut dapat mengisi rongga pada mortar (Rommel dan Rusdianto, 2012). Tanah hasil penggilingan dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Sampel Tanah Setelah Digiling

Logam Hg yang digunakan adalah Hg(II)SO_4 . Sampel tanah dibuat dengan konsentrasi 150 mg/kg, massa Hg(II)SO_4 yang digunakan untuk mendapatkan konsentrasi tersebut diketahui dengan perhitungan yang terdapat pada Lampiran B.

Karakteristik fisik dari Hg(II)SO_4 adalah berbentuk serbuk kristal halus dan berwarna putih. Serbuk Hg(II)SO_4 ini tidak dapat larut pada akuades, sehingga perlu ditambahkan larutan asam sebagai pelarut. Asam yang digunakan adalah asam nitrat (HNO_3) sebanyak 1 mL. Hg mudah larut dalam HNO_3 , tetapi sukar larut dalam pelarut-pelarut yang umum, misalnya dalam air atau aseton (Hutagalung, 1985 dalam Wetipo, 2013). Kemudian larutan Hg(II)SO_4 yang telah dicampur asam, ditambah akuades sebanyak air hasil uji konsistensi normal tiap benda uji. Larutan Hg(II)SO_4 dicampurkan ke sampel tanah hingga tanah berbentuk pasta, kemudian ditambahkan semen Portland dan *fly ash* sesuai variasi komposisi yang ditentukan. Banyaknya massa serbuk Hg(II)SO_4 yang dilarutkan untuk tiap benda uji disesuaikan dengan banyaknya sampel tanah tiap komposisi. Perhitungan massa serbuk Hg(II)SO_4 untuk tiap benda uji tersaji pada Lampiran B dan hasil perhitungan tersaji pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Massa Hg(II)SO_4 yang Ditambahkan Pada Sampel Tanah

Nama Benda	Binder : Tanah (%)	Binder (g)	Tanah (g)	Hg(II)SO_4 (g)
A	100 : 0	300	0	-
B	90 : 10	270	30	0,011
C	80 : 20	240	60	0,019
D	70 : 30	210	90	0,028
E	60 : 40	180	120	0,038
F	50 : 50	150	150	0,047

4.3.2 Uji Konsistensi Normal Tahap II

Uji konsistensi normal tahap II ini bertujuan mengetahui kebutuhan air pada pembuatan benda uji dengan bahan semen Portland, *fly ash*, dan sampel tanah tercemar. Hasil uji konsistensi normal tahap II terdapat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Uji Konsistensi Normal Tahap II

Nama Benda	Binder : Tanah (%)	Semen Portland (g)	Fly Ash (g)	Tanah (g)	Jumlah Air (mL)	FAS
A	100 : 0	150	150	0	68	0,23
B	90 : 10	135	135	30	80	0,27
C	80 : 20	120	120	60	83	0,28
D	70 : 30	105	105	90	88	0,29
E	60 : 40	90	90	120	97	0,32
F	50 : 50	75	75	150	109	0,36

Berdasarkan hasil uji konsistensi normal, semakin banyak penambahan sampel tanah maka semakin banyak air yang dibutuhkan. Hal ini dikarenakan sampel tanah mengandung lanau dan lempung yang mempunyai sifat menahan air. Menurut Intara dkk. (2011), tanah bertekstur lempung mempunyai luas permukaan spesifik yang luas sehingga memiliki kemampuan mengikat air yang tinggi. Saat air terikat oleh partikel lempung, akan terjadi lekatan yang kuat, sehingga air dapat tertahan di dalam partikel lempung. Berdasarkan hasil analisis, kandungan lanau dan lempung pada sampel tanah mencapai 59,06%.

Menurut Mizwar dkk. (2012), nilai FAS dapat mempengaruhi proses hidrasi semen pada saat semen bersentuhan dengan air. Proses hidrasi akan berlangsung terus selama masih ada air atau uap air dan semen yang belum terhidrasi (Munir, 2008).

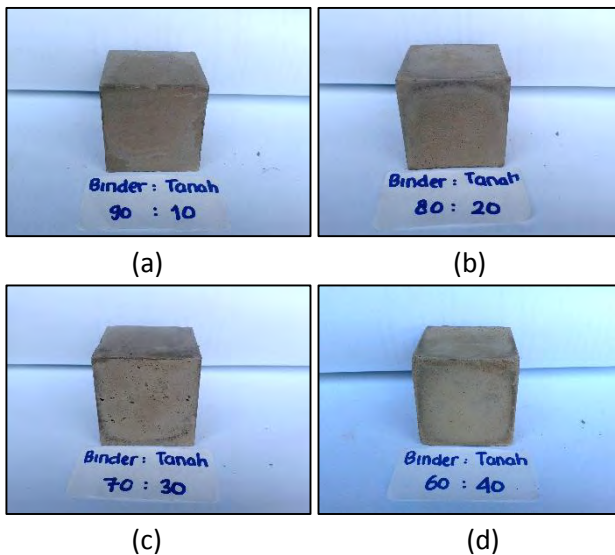
4.3.3 Pembuatan Benda Uji dan Curing Tahap II

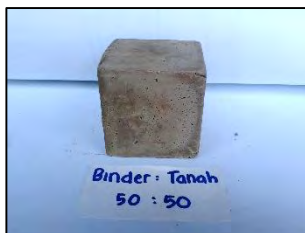
Setiap benda uji memerlukan semen Portland, *fly ash*, dan sampel tanah sebanyak 300 g, dengan variasi komposisi *binder* : tanah yang terdapat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Variasi Komposisi Penelitian Tahap II

Nama Benda	Komposisi Binder : Tanah (%)	Semen Portland (g)	Fly Ash (g)	Tanah (g)
A	100 : 0	150	150	0
B	90 : 10	135	135	30
C	80 : 20	120	120	60
D	70 : 30	105	105	90
E	60 : 40	90	90	120
F	50 : 50	75	75	150

Pembuatan benda uji tahap II ini bertujuan untuk mengetahui komposisi optimum tanah dengan melihat hasil uji kuat tekan dan hasil uji TCLP benda uji setelah proses *curing* selama 28 hari. Perlakuan benda uji pada proses pencetakan dan pemadatan sama seperti benda uji pada tahap I. Proses *curing* dilakukan dengan metode *moisture curing* selama 28 hari. Benda uji ditutup dengan kain yang dijaga kelembapan kainnya agar benda uji tetap basah setiap saat, hal ini bertujuan untuk mencegah keretakan pada benda uji. Gambar benda uji setelah proses *curing* dapat dilihat pada Gambar 4.4





(e)

Gambar 4.4 Benda Uji Setelah Curing

(a) Benda B (b) Benda C (c) Benda D (d) Benda E (e) Benda F

4.3.4 Uji Kuat Tekan Tahap II

Uji kuat tekan tahap II dilakukan pada dua belas benda uji. Pada uji kuat tekan ini, terdapat benda uji yang berumur 29 hari, sehingga pada perhitungan nilai kuat tekan perlu dikorelasikan dengan nilai korelasi umur beton (Tabel 2.5). Perhitungan nilai kuat tekan terdapat pada Lampiran B, dengan hasil perhitungan nilai kuat tekan terdapat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Uji Kuat Tekan Benda Uji Tahap II

Komposisi Binder : Tanah (%)	Nama Benda	Beban (kg)	Luas Perm. (cm ²)	Umur Benda (hari)	Korelasi Umur	Nilai Kuat Tekan (ton/m ²)	Rata-rata (ton/m ²)
100:0	A1	9050	25	29	1,01	3584,2	3554,5
	A2	8900	25	29	1,01	3524,8	
90:10	B1	6650	25	28	1,00	2660,0	2730,0
	B2	7000	25	28	1,00	2800,0	
80:20	C1	7000	25	28	1,00	2800,0	2900,0
	C2	7500	25	28	1,00	3000,0	
70:30	D1	5800	25	28	1,00	2320,0	2260,0
	D2	5500	25	28	1,00	2200,0	

Komposisi <i>Binder</i> :Tanah (%)	Nama Benda	Beban (kg)	Luas Perm. (cm ²)	Umur Benda (hari)	Korelasi Umur	Nilai Kuat Tekan (ton/m ²)	Rata-rata (ton/m ²)
60:40	E1	4500	25	28	1,00	1800,0	1760,0
	E2	4300	25	28	1,00	1720,0	
50:50	F1	2750	25	28	1,00	1100,0	1140,0
	F2	2950	25	28	1,00	1180,0	

Berdasarkan hasil uji kuat tekan diatas, nilai kuat tekan tertinggi pada benda uji yang ditambahkan sampel tanah dimiliki oleh benda uji C dengan komposisi 80:20 yaitu 2900 ton/m². Nilai kuat tekan terendah dimiliki oleh benda uji F dengan komposisi 50:50 yaitu sebesar 1140 ton/m².

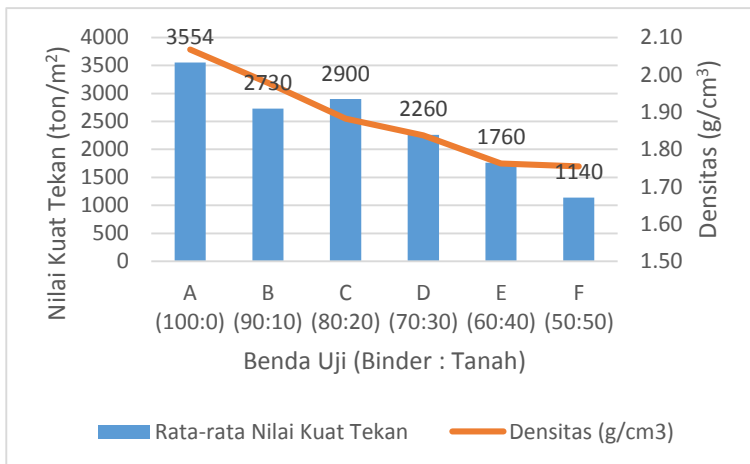
Menurut Falciglia dan Vagliasindi (2013), kuat tekan akan menurun seiring semakin banyak sampel tanah yang digunakan. Pada benda uji B komposisi *binder*:sampel tanah 90:10 terjadi penurunan nilai kuat tekan yang signifikan kemudian naik kembali pada komposisi selanjutnya. Hal ini dikarenakan terjadi kesalahan saat akan pengujian kuat tekan, benda uji sudah retak sebelum dilakukan uji kuat tekan sehingga nilai kuat tekan menurun.

Benda uji dengan komposisi optimum *binder* 50:50 pada tahap I, dibuat kembali pada penelitian tahap II sebagai benda uji kontrol. Benda uji ini dibuat tanpa penambahan sampel tanah, atau dengan komposisi *binder*:sampel tanah 100:0. Dilakukan perlakuan yang sama pada benda uji, namun terdapat perbedaan yang signifikan pada nilai kuat tekan. Benda uji pada tahap I mempunyai nilai kuat tekan 5560 ton/m², sedangkan pada tahap II mempunyai nilai kuat tekan 3554,5 ton/m². Perbedaan yang signifikan ini disebabkan oleh perbedaan densitas benda uji. Densitas rata-rata benda uji tahap I sebesar 2,20 g/cm³, sedangkan densitas rata-rata benda uji tahap II 2,06 g/cm³.

Pada penelitian tahap II, benda uji memiliki nilai kuat tekan yang berbanding lurus dengan densitas benda uji, kecuali pada benda uji B. Adanya penurunan signifikan pada benda uji B saat densitas benda uji menurun stabil. Nilai densitas masing-masing benda uji disajikan pada Tabel 4.10. Pada Gambar 4.5 terdapat grafik perbandingan nilai kuat tekan dengan nilai densitas benda uji.

Tabel 4.10 Densitas Benda Uji Tahap II

Komposisi Binder:Tanah	Nama Benda	Berat Benda (g)	Volume (cm ³)	Densitas (g/cm ³)
100 : 0	A	257,3	125	2,06
90 : 10	B	246,2	125	1,97
80 : 20	C	235,2	125	1,88
70 : 30	D	230,6	125	1,84
60 : 40	E	221,0	125	1,77
50 : 50	F	213,0	125	1,70



Gambar 4.5 Perbandingan Kuat Tekan dengan Densitas Tahap II

Adanya penurunan berat benda uji diakibatkan oleh kurang optimalnya pemadatan benda saat dicetak, sehingga terdapat banyak rongga pada benda uji.

4.3.5 Uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)

Keefektifan proses S/S dalam mereduksi pelindian dan kelarutan limbah diuji dengan uji *toxicity characteristic leaching procedure* (TCLP). Prosedur uji TCLP, yang terdapat pada Lampiran A, mengacu pada US EPA Method 1311. Benda uji yang telah hancur setelah uji kuat tekan, dihaluskan sampai berukuran ± 1 mm. Benda uji yang telah dihaluskan diekstrak dengan cairan ekstraksi yang ditentukan berdasarkan pH sampel. Jika pH < 5 maka digunakan cairan ekstraksi 1, jika pH > 5 digunakan cairan ekstraksi 2. Dilakukan pengukuran pH sampel sebagai prosedur preparasi sampel untuk menentukan cairan ekstraksi yang digunakan, hasil pengukuran pH terdapat pada Tabel 4.11

Tabel 4.11 Hasil Pengukuran pH Sampel Benda Uji

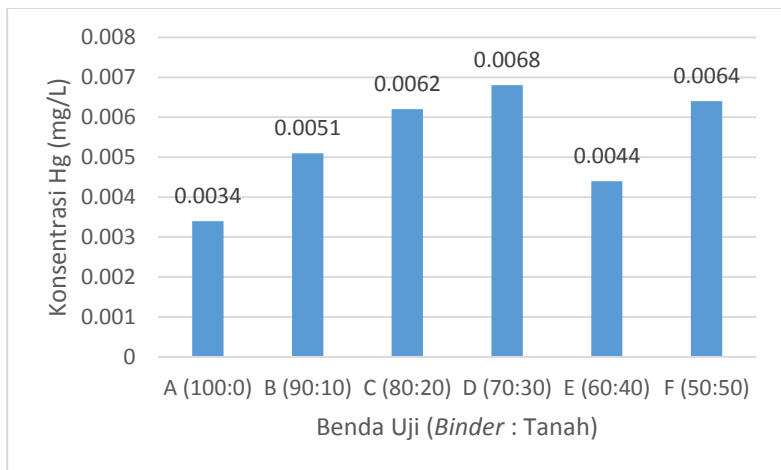
Komposisi Binder:Tanah	Nama Benda Uji	pH	Rata-rata pH
100:0	A1	12,58	12,56
	A2	12,54	
90:10	B1	12,32	12,42
	B2	12,51	
80:20	C1	12,23	12,20
	C2	12,17	
70:30	D1	12,21	12,31
	D2	12,40	
60:40	E1	12,05	12,03
	E2	12,01	
50:50	F1	11,69	11,82
	F2	11,96	

Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui semua sampel memiliki pH > 5 , maka digunakan cairan ekstraksi 2 untuk mengekstrak sampel. Dilakukan rotasi-agitasi sampel dengan kecepatan 30 ± 2 rpm selama 18 ± 2 jam. Kemudian sampel disaring dengan tujuan untuk mendapatkan sampel yang jernih tanpa ada endapan agar dapat terbaca saat pengukuran logam Hg yang dilakukan di Laboratorium Baristand Surabaya. Gambar sampel yang telah dirotasi-agitasi terdapat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.6 Sampel Setelah Proses Rotasi-Agitasi
(A) Komposisi Binder:Tanah 100:0 (B) 90:10 (C) 80:20 (D) 70:30
(E) 60:40 (F) 50:50

Metode uji pengukuran logam Hg mengacu pada SNI 6989.78 : 2011 mengenai pengukuran raksa (Hg) pada air dan air limbah menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Hasil pengukuran Hg pada uji TCLP terdapat pada Gambar 4.7



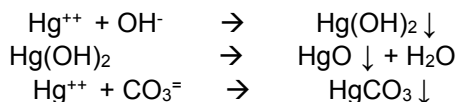
Gambar 4.7 Konsentrasi Hg pada Uji TCLP

Berdasarkan Tabel 4.12 diatas memperlihatkan bahwa hasil pengukuran Hg pada uji TCLP pada semua komposisi berada dibawah baku mutu TCLP-B berdasarkan PP 101/2014 yaitu 0,05 mg/L. Pada benda uji dengan komposisi *binder:tanah* 100:0 terdeteksi Hg dengan konsentrasi 0,0034 mg/L. Hal ini

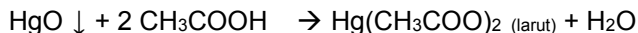
dimungkinkan terdapat Hg alami pada *fly ash* yang tidak terikat oleh bahan pengikat. Menurut Gustin dan Ladwig (2012), terdapat merkuri secara alami pada batu bara yang masih terbawa pada abu terbang hasil pembakaran.

Konsentrasi logam diukur dalam satuan mg/L maka perlu dibagi dengan densitas benda uji untuk mengonversi menjadi satuan mg/kg sampel kering (Leonard dan Stegemann, 2010). Pada benda uji F dengan penggunaan tanah terbanyak yaitu perbandingan *binder*:tanah 50:50 terdapat konsentrasi Hg 0,0064 mg/L dengan densitas 1,70 kg/L (Tabel 4.10). Jika dikonversikan kedalam satuan mg/kg, maka konsentrasi Hg menjadi 0,0037 mg/kg. Hal ini membuktikan bahwa proses S/S campuran semen Portland – *fly ash* dan tanah mempunyai efisiensi stabilisasi logam Hg sebesar 99,9% dengan konsentrasi awal Hg pada sampel tanah 150 mg/kg. Pada penelitian Zhang *et al.* (2009), efisiensi stabilisasi dihitung untuk mengevaluasi lebih lanjut efektivitas proses S/S limbah mengandung Hg. Perhitungan efisiensi stabilisasi Hg pada penelitian ini terdapat pada Lampiran B.

Reaksi pengikatan Hg yang terjadi dalam proses stabilisasi salah satunya adalah proses pengendapan (LaGrega *et al.*, 1994). Pengendapan yang terjadi akibat adanya reaksi antara Hg^{++} dalam HgSO_4 dengan senyawa basa dan karbonat yang terdapat pada semen. Reaksi tersebut dapat ditulis sebagai berikut:



Struktur kristalin yang terbentuk dari proses hidrasi akan mengikat kontaminan logam berat yang terdapat dalam limbah, setelah menjadi presipitat hidroksida dan garam karbonat (Trihadiningrum, 2000). Ikatan logam berat yang bersifat basa dalam matriks semen tersebut diuji resistansinya terhadap asam. Benda uji diekstrak menggunakan asam asetat untuk mengetahui adanya Hg yang masih bisa larut dalam asam. Reaksi yang terjadi dapat ditulis sebagai berikut:



Senyawa $\text{Hg}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ inilah yang terukur dalam analisis konsentrasi Hg menggunakan AAS.

Konsentrasi Hg mengalami peningkatan pada benda uji A sampai D dan berfluktuasi pada benda uji E dan F, namun peningkatan dan fluktuasi tersebut tidak signifikan. Mobilitas Hg memiliki nilai yang rendah disebabkan oleh pH dari benda uji yang tinggi yaitu >12 . Menurut Suprihatin dan Indrasti (2010), kelarutan logam Hg semakin kecil saat pH semakin tinggi, seperti grafik yang tersaji pada Gambar 2.1, penyisihan Hg dapat mencapai 97-99% dan akan stabil pada pH 12.

Berdasarkan hasil analisis logam Hg pada uji TCLP dan hasil perhitungan efisiensi stabilisasi, memperlihatkan campuran semen Portland dan *fly ash* sangat efektif untuk mengurangi mobilitas Hg. Namun pada penerapan skala *pilot*, campuran *binder*:tanah 50:50 kurang ekonomis karena masih banyak *binder* yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan benda uji dengan komposisi *binder*:tanah 50:50 mempunyai kuat tekan yang sangat tinggi dan konsentrasi Hg yang dibawah baku mutu.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Komposisi optimum campuran *binder* semen Portland dan *fly ash* pada penelitian tahap I adalah komposisi 50:50. Penentuan ini berdasarkan nilai kuat tekan yang memenuhi baku mutu dengan penggunaan *fly ash* terbanyak. Nilai kuat tekan yang didapat adalah sebesar 5560 ton/m², dengan baku mutu kuat tekan berdasarkan US EPA adalah sebesar 35 ton/m².
2. Komposisi optimum campuran *binder* dan sampel tanah adalah komposisi 50:50. Diperoleh nilai kuat tekan sebesar 1140 ton/m² dan konsentrasi Hg pada uji TCLP sebesar 0,0064 mg/L. Konsentrasi Hg masih memenuhi baku mutu TCLP-B menurut Peraturan Pemerintah nomor 101 tahun 2014 yaitu sebesar 0,05 mg/L dengan efisiensi stabilisasi Hg sebesar 99,9%.
3. Ditinjau berdasarkan nilai kuat tekan dan konsentrasi Hg pada uji TCLP, kualitas produk S/S tanah tercemar merkuri semakin menurun seiring semakin banyaknya sampel tanah yang digunakan. Kualitas produk S/S yang paling baik ditinjau dari aspek teknis (memenuhi baku mutu) dan ekonomis (penggunaan *fly ash* dan tanah terbanyak) adalah produk S/S dengan campuran *binder*:tanah 50:50.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian ini adalah:

1. Penentuan komposisi *fly ash* pada penelitian tahap I dapat ditingkatkan lebih dari 50%. Hal ini dikarenakan pada komposisi semen Portland dan *fly ash* 50:50, didapat nilai kuat tekan yang sangat tinggi dan jauh melebihi baku mutu.

2. Penentuan komposisi tanah pada penelitian II dapat ditingkatkan lebih dari 50%, karena pada komposisi ini didapatkan nilai kuat tekan yang sangat tinggi dan konsentrasi Hg pada uji TCLP yang jauh dibawah baku mutu.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianita, R., Fitria, D., dan Sari, Putri R. 2010. **Pemanfaatan Fly Ash Batubara sebagai Adsorben dalam Penyisihan Chemical Oxygen Demand (COD) dari Limbah Cair Domestik (Studi Kasus: Limbah Cair Hotel Inna Muara, Padang).** Jurnal Teknik. 33, 81-93
- Antemir, A., Hills, C.D., Careya, P.J., Magnié, M-C. dan Poletti, A. 2010. **Investigation of 4 Year-Old Stabilised/Solidified and Accelerated Carbonated Contaminated Soil.** Journal of Hazardous Materials, 181, 543-555
- Appel, P.W.U. dan Na-Oy, L.D. 2014. **Mercury-Free Gold Extraction Using Borax for Small-Scale Gold Miners.** Journal of Environmental Protection, 5, 493-499
- Apriliani, A. 2010. **Pemanfaatan Arang Ampas Tebu sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr(VI), Cu, dan Pb dalam Air Limbah.** Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah
- ASTM Standard C 618-84. 1994. **Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete**
- ASTM Standard C 187-11e1. 2011. **Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste.**
- ASTM Standard D 422-63. 1998. **Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.**
- Badan Standarisasi Nasional. 1990. SNI 03-1974-1990 **Metode Pengujian Kuat Tekan Beton.**
- Badan Standarisasi Nasional. 1991. SNI 03-2460-1991 **Spesifikasi Abu Terbang Sebagai Bahan Tambahan untuk Campuran Beton.**

- Badan Standarisasi Nasional. 2004. SNI 15-2049-2004 **Semen Portland**
- Beard, R. 1987. **Treating Gold Ores by Amalgamation**. Arizona Miner's Seminar, Ehrenberg, Arizona, 27 Maret 1987, 1-4
- Bose-O'Reilly. S., Drasch, G., Beinhoff, C., Rodríguez-Filho, S., Roider, G., Lettmeier, B., Maydl, A., Maydl, S., dan Siebert, U. 2010. **Health Assessment of Artisanal Gold Miners in Indonesia**. Journal of Science of the Total Environment, 408, 713-725
- Denni, W., Tjahjono, B., Gunrady, R., Sukandar, M., dan Ta'in, Z. 2005. **Pendataan Sebaran Merkuri di Daerah Cineam, Kab. Tasikmalaya, Jawa Barat dan Sangon, Kab. Kulon Progo, Di Yogyakarta- Kolokium Hasil Lapangan-DIM**.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1990. SK SNI T- 15-1990-03 **Tata cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal**.
- Desogus, P., Manca, P.P., Orrù, G. dan Zucca, A. 2013. **Stabilization–Solidification Treatment of Mine Tailings Using Portland Cement, Potassium Dihydrogen Phosphate and Ferric Chloride Hexahydrate**. Journal of Minerals Engineering, 45, 47-54
- EPA. 1992. **Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) Method**. *Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods*. EPA Publication SW-846, Washington DC, USA
- EPA. 2000. **Solidification / Stabilization Use at Superfund Sites**. EPA Publication 542-R-00-010, Washington DC, USA
- EPA. 2006. **In Situ Treatment Technologies for Contaminated Soil**. EPA Publication 542-F-06-013, Washington DC, USA
- EPA. 2007. **Treatment Technologies for Mercury in Soil, Waste, and Water**. Washington DC, USA

- Factsha, R., Mungok, C.D., dan Herwani. 2008. **Studi Bio Admixture untuk Bahan Mortar Mutu Normal**. Jurnal Teknik Sipil Universitas Tanjungpura, Pontianak
- Falciglia, P. dan Vagliasindi, F. 2013. **Stabilisation/Solidification of Pb Polluted Soils: Influence of Contamination Level and Soil: Binder Ratio on the Properties of Cement-Fly Ash Treated Soils**. Journal of Chemical Engineering Transaction, 32, 385-390
- Gailius, A., Vacenovska, B., dan Drochytka, R. 2010. **Hazardous Waste by Solidification/Stabilization Method**. Journal of Material Science, 16, 165-169
- Ganjidoust, H., Hassani, A., dan Ashkiki, A. 2009. **Cement-Based Solidification/Stabilization of Heavy Metal Contaminated Soils with The Objective of Achieving High Compression Strenght for The Final Matrix**. Scientia Iranica, 16, 107-115
- Gustin, M., dan Ladwig, K. 2012. **An Assessment of the Significance of Mercury Release from Coal Fly Ash**. Journal of the Air & Waste Management Association, 54, 320-330
- Hartati, I., Riwayati, I., dan Kurniasari, L. 2011. **Potensi Xanthate Pulpa Kopi sebagai Adsorben pada Pemisahan Ion Timbal dari Limbah Industri Batik**. Jurnal Momentum, 7, 25-30
- Hargono, Jaeni, M., dan Budi. F.S. 2009. **Pengaruh Perbandingan Semen Pozolan dan Semen Portland Terhadap Kekakuan Bentuk Dan Kuat Tekan Semen**. Jurnal Momentum, 5, 21-25
- Intara, Y., Sapei, A., Sembiring, N., dan Djoeffie, M. 2011. **Pengaruh Pemberian Bahan Organik Pada Tanah Liat dan Lempung Berliat Terhadap Kemampuan Mengikat Air**. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia, 16, 130-135

Keputusan Kepala Bappedal Nomor 03 Tahun 1995 **Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun**. Badan Pengendalian Dampak Lingkungan.

Keputusan Kepala Bappedal Nomor 01 Tahun 1995 **Tata Cara Persyaratan Teknis Penyimpanan dan Pengumpulan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun**. Badan Pengendalian Dampak Lingkungan.

LaGrega, M.D., Buckingham, P.I., dan Evans, J.C. 1994. **Hazardous Waste Management**. Singapore: McGraw-Hill, Inc

Leonard, S.A. dan Stegmann, J.A. 2010. **Stabilization/Solidification of Petroleum Drilling Cuttings: Leaching Studies**. Journal of Hazardous Materials, 174, 484-491

Marzuki, P.F. dan Jogaswara, E. 2007. **Potensi Semen Alternatif dengan Bahan Dasar Kapur Padalarang dan Fly ash Suralaya untuk Konstruksi Rumah Sederhana**. Seminar Nasional "Sustainability dalam Bidang Material, Rekayasa, dan Konstruksi Beton, Bandung, 4 Desember 2007, 107-19

Meynarti, R. 2008. **Uji Efektifitas Solidifikasi Cu dengan Campuran Fly Ash**. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS, Surabaya

Mizwar, A., Rohman, T., Bakhtiar, 2012. **Pemanfaatan Limbah Lumpur Berminyak Melalui Proses Stabilisasi/Solidifikasi dengan Semen Untuk Pembuatan Bata Beton Berlubang**. *Jurnal PURIFIKASI*, 13, 9-16.

Mughnie, H. 2010. **Studi Banding Pengaruh Faktor Air Semen dan Kadar Fly Ash terhadap Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton Ringan**. Jurnal Konstruksia, 2, 9-22

Munir, M. 2008. **Pemanfaatan Abu Batubara (Fly Ash) Untuk Hollow Block yang Bermutu dan Aman Bagi**

- Lingkungan**. Tesis, Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro, Semarang
- Mursito, A.T. 2004. **Raw Mix Design Klinker Semen Portland Alternatif Berbasis Limbah Asetilen dan Pozzolan Alam**. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, Bandung, 21-22 Juli 2004, 1-6
- Ngurah, A. 2008. *Pemanfaatan Abu Terbang PLTU-Suralaya untuk Castable Refractory*.
http://www.tekmira.esdm.go.id/download/01_Jurnal%20tekMIRA_Januari_2006.pdf Diunduh tanggal 5 November 2014
- Nugroho, A.Z. dan Widodo, S. 2010. **Efek Perbedaan Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan Agregat Breksi Batu Apung**. Jurnal Teknik Sipil. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Universitas Negeri Yogyakarta
- Nurzal dan Mahmud, J. 2013. **Pengaruh Komposisi Fly Ash Terhadap Daya Serap Air Pada Pembuatan Paving Block**. Jurnal Teknik Mesin, 3, 41-48
- Paria, S. dan Yuet, K. 2006. **Solidification/Stabilization of Organic and Inorganic Contaminants Using Portland Cement: A Literature Review**. Environmental Reviews 14: 217-255
- Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 **Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun**. Pemerintah Republik Indonesia.
- Purwani, J. 2010. **Remediasi Tanah Dengan Menggunakan Tanaman Akumulator Logam Berat Akar Wangi (Vetiveria zizanioides L.)**.
<http://balittanah.litbang.deptan.go.id/ind/viewer.php?folder=dokumentasi/prosidingsemnas2010&filename=jati2&ext=pdf> diunduh tanggal 12 Oktober 2014

- PT.Jawa Power. 2013. **Laporan Monitoring Lingkungan**. http://www.jawapower.co.id/files/LaporanLingkungan68_1nd.pdf diunduh pada 17 Mei 2015
- Putranto, T. 2011. **Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg) Pada Air Tanah**. Jurnal Teknik, 32, 62-71
- Rianto, S. 2010. **Analisis Faktor - Faktor Yang Berhubungan Dengan Keracunan Merkuri Pada Penambang Emas Tradisional Di Desa Jendi Kecamatan Selogiri Kabupaten Wonogiri**. Tesis. Magister Kesehatan Lingkungan Universitas Diponegoro, Semarang
- Ritayani, K. 2014. **Stabilisasi Limbah Mengandung Cu dengan Campuran Semen Portland dan Bentonit**. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS, Surabaya
- Rommel, E dan Rusdianto, Y. 2012. **Pemakaian Fly-Ash Sebagai Cementitious Pada Beton Mutu Tinggi Dengan Steam Curing (The Use Of Fly-Ash As Cementitious On High-Strength Concrete With Steam Curing)**. Jurnal Media Teknik Sipil, 10, 128-136
- Setiabudi, B. 2005. **Penyebaran Merkuri Akibat Usaha Pertambangan Emas di Daerah Sangon, Kabupaten Kulon Progo, D.I. Yogyakarta- Kolokium Hasil Lapangan – DIM**
- Shalahuddin, M. 2009. **Pengaruh Penambahan Fly Ash Batu Bara Campur Kayu Pada Kuat Tekan Beton**. Jurnal Sains dan Teknologi, 8, 56-65
- Singhal, A., Prakash, S., dan Tewari, V.K. 2012. **A Study on Utilization of Treated Spent Liquor Sludge with Fly Ash by Making Cement Concrete Hollow Cavity Bricks**. Journal of Environmental Protection, 2, 17-21
- Suarnita, I.W. 2011. **Kuat Tekan Beton dengan Aditif Fly Ash Ex. PLTU Mpanau Tavaeli**. Jurnal SMARTek, 9, 1-10
- Subekti, S. 2012. **Analisis Proporsi Limbah Fly Ash Paiton dan Tjiwi Kimia Terhadap Kuat Tekan Pasta Geopolimer**.

Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW), Surabaya, 11 Juli 2012, 11-30

- Suparjo, M. dan Suhana. 2005. **Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Komposisi Campuran Beton Ringan Tanpa Pasir dengan Agregat Limbah Batu Apung.** <http://ejournal.ftunram.ac.id/abstrak.php?id=3&vol=3&edisi=1&idisi=144&baca=1> diunduh tanggal 7 November 2014
- Suprihatin dan Indrasti, N. 2010. **Penyisihan Logam Berat Dari Limbah Cair Laboratorium dengan Metode Presipitasi dan Adsorpsi.** Jurnal Makara Sains, 14, 44-50
- Syamsuddin, R., Wicaksono, A., dan Fazairin, M.F. 2011. **Pengaruh Air Laut pada Perawatan (Curing) Beton Terhadap Kuat Tekan dan Absorpsi Beton dengan Variasi Faktor Air Semen dan Durasi Perawatan.** Jurnal Rekayasa Sipil, 5, 68-75
- Trihadiningrum, Y. 2000. **Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.** Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS, Surabaya
- Veiga, M.M., Nunes, D., Klein, B., Shandro, J.A., Velasquez, P.C., dan Sousa, R.N. 2009. **Mill Leaching: A Viable Substitute For Mercury Amalgamation in The Artisanal Gold Mining Sector?.** Journal of Cleaner Production, 17, 1373-1381
- Wang, J., Feng, X., Anderson, C., Xing, Y., dan Shang, L. 2012. **Remediation of mercury contaminated sites - A review.** Journal of Hazardous Materials, 221-222, 1-18
- Wardani, S. 2008. **Pemanfaatan Limbah Batu Bara (Fly Ash) untuk Satbilisasi Tanah Maupun Keerluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan.** Pidato Pengukuhan Guru Besar. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.

- Wetipo, Y., Mangimbulude, J., dan Rondonuwu, F. 2013. **Produksi Ros Akibat Akumulasi Ion Logam Berat dan Mekanisme Penangkal dengan Antioksidan.** <http://download.portalgaruda.org/article.php?article=139156&val=4058> diunduh tanggal 10 Juni 2015
- Widhiyatna, D. 2005. **Pendataan Penyebaran Merkuri Akibat Usaha Pertambangan Emas di Daerah Tasikmalaya, Propinsi Jawa Barat - Kolokium Hasil Lapangan-DIM.**
- Wijaya, D. 2005. **Pengaruh Fly Ash dan pH terhadap Kestabilan Benda Hasil Proses Solidifikasi Limbah Cr(VI).** Tugas Akhir. Teknik Lingkungan FTSP-ITS, Surabaya
- Wiryasa, N.M.A. dan Sudarsana, I.W. 2009. **Pemanfaatan Lumpur Lapindo sebagai Bahan Substitusi Semen dalam Pembuatan Bata Beton Pejal.** Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 3, 39-46
- Zhang, X-Y., Wang, Q-C., Zhang, S-Q., Sun, X-J., dan Zhang, Z-S. 2009. **Stabilization/solidification (S/S) of mercury-contaminated hazardous wastes using thiol-functionalized zeolite and Portland cement.** Journal of Hazardous Material, 168,1575-1580
- Zulkoni, A., Rahyuni, D. dan Nasirudin. 2009. **Perbaikan Tanah Tercemar Merkuri Akibat Penambangan Emas di Kulon Progo Yogyakarta: Laporan Penelitian.** <http://elib.pdii.lipi.go.id/katalog/index.php/searchkatalog/byld/265612> diunduh tanggal 5 Oktober 2014

LAMPIRAN A

PROSEDUR PENELITIAN

A. Uji kuat tekan

Prosedur uji kuat tekan berdasarkan ASTM C109 adalah sebagai berikut:

- a) Benda yang akan diuji kuat tekan dikeluarkan dari cetakannya.
- b) Hidupkan mesin yang akan digunakan untuk menguji kuat tekan, atur kapasitas pembebanan yang sesuai dengan benda yang akan diuji. Perhatikan jarum penunjuk pada mesin harus dinolkan dan diatur agar siap pakai.
- c) Angkat *hammer* pembeban dengan memutar tombol pengangkat lalu benda yang akan diuji diletakkan pada alas *hammer* pembeban.
- d) Letakkan *hammer* pembeban hingga menyentuh permukaan benda uji.
- e) Putar *hammer* pembeban perlahan-lahan hingga menekan benda uji. Kecepatan pembebanan 1,4-3,4 kg/cm².detik.
- f) Catat hasil pembacaan yang ada di meteran setelah jarum berhenti.
- g) Pengujian pada benda uji dilakukan sampai hancur.

B. Prosedur uji TCLP

Berdasarkan US EPA method 1311 tentang Uji TCLP, prosedur untuk uji TCLP adalah sebagai berikut:

- a) *Preliminary Evaluation*
 - Ayak sampel hingga lolos saringan 1 mm.
 - Masukkan 5 mg sampel ke dalam *beaker glass*.
 - Tambahkan 96,5 ml akuades dan aduk selama 5 menit
 - Cek pH, jika: pH <5, maka gunakan cairan ekstraksi 1
pH >5, maka gunakan cairan ekstraksi 2
- b) Pembuatan sampel
 - Rumus yang digunakan = 20 x berat padatan
 - Jika padatan 25 gram, maka akuades yang ditambahkan 500 ml.
- c) Cairan ekstraksi 1
 - Tambahkan 5,7 ml asam asetat glacial untuk tiap *liner* sampel ke dalam 500 ml akuades.
 - Tambahkan 64,3 ml NaOH 1 N untuk tiap *liner* sampel.

- Tambahkan akuades hingga volume sampel yang diinginkan.
- Atur pH hingga $4,93 \pm 0,5$. Jika $\text{pH} < 4,93$ tambahkan NaOH 1 N. Jika $\text{pH} > 4,93$ tambahkan CH_3COOH *glacial*.
- d) Cairan ekstraksi 2
 - Tambahkan 5,7 ml asam asetat untuk tiap *liner* sampel ke dalam 500 ml akuades.
 - Atur pH hingga $2,88 \pm 0,5$.
Jika $\text{pH} < 2,88$ tambahkan NaOH 1 N. Jika $\text{pH} > 2,88$ tambahkan CH_3COOH *glacial*.
- e) Rotasi dan Agitasi
 - Masukkan sampel ke dalam botol berbahan *polyethylene*.
 - Lakukan rotasi-agitasi dengan kecepatan 300 rpm, selama 18 ± 2 jam.
 - Sampel di saring menggunakan kertas saring Whatman.
 - Filtrat di analisis dengan menggunakan metode *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS).

C. Prosedur Uji Kadar Air

Prosedur uji kadar air atau berat kering adalah sebagai berikut:

- a) Cawan petridish kosong dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam.
- b) Cawan kosong didinginkan di dalam desikator selama ± 15 menit.
- c) Cawan ditimbang menggunakan neraca analitik (a).
- d) Sampel dimasukkan ke dalam cawan secukupnya, kemudian cawan berisi sampel ditimbang (b).
- e) Cawan berisi sampel dimasukkan ke dalam oven suhu 105°C selama 24 jam.
- f) Setelah dioven, cawan berisi sampel didinginkan di desikator selama ± 15 menit.
- g) Cawan berisi sampel ditimbang menggunakan neraca analitik (c).
- h) Dihitung kadar air pada sampel menggunakan rumus:

$$\text{Berat kering} = \frac{c-a}{b-a} \times 100\%$$

$$\text{Kadar Air} = 100\% - \text{berat kering}$$

LAMPIRAN B PERHITUNGAN

A. Perhitungan Kadar Air Sampel Tanah

Pengukuran kadar air sampel tanah dilakukan dua kali pengulangan. Perhitungan kadar air pada sampel tanah adalah sebagai berikut:

Sampel 1

$$\begin{aligned} a &= 22,78 \text{ g} \\ b &= 25,45 \text{ g} \\ c &= 25,04 \text{ g} \\ \text{Berat kering} &= \frac{25,04 - 22,78}{25,45 - 22,78} \times 100\% \\ &= 84,6\% \\ \text{Kadar air} &= 100\% - 84,6\% \\ &= 15,4\% \end{aligned}$$

Sampel 2

$$\begin{aligned} a &= 19,69 \text{ g} \\ b &= 22,29 \text{ g} \\ c &= 21,88 \text{ g} \\ \text{Berat kering} &= \frac{21,88 - 19,69}{22,29 - 19,69} \times 100\% \\ &= 84,2\% \\ \text{Kadar air} &= 100\% - 84,2\% \\ &= 15,8\% \end{aligned}$$

Rata-rata kadar air kedua sampel tersebut adalah = 15,6 %

B. Perhitungan Kadar Merkuri pada Tiap Benda Uji

Merkuri yang ditambahkan dihitung berdasarkan massa sampel tanah pada tiap benda uji. Massa Hg(II)SO_4 pada 1 kg tanah adalah 0,3178 g, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Massa atom relatif (Ar) Hg} &= 200,59 \\ \text{Ar S} &= 32,06 \\ \text{Ar O} &= 16 \end{aligned}$$

(A = massa Hg(II)SO₄ yang dibutuhkan)

$$\text{Hg} = \frac{(2 \times \text{Ar Hg}) + (\text{Ar S}) + (4 \times \text{Ar O})}{\text{Ar Hg}} \times A$$

$$150 \text{ mg/kg} = \frac{(2 \times 200,59) + (32,06) + (4 \times 16)}{(200,59)} \times A$$

$$A = \frac{497,24}{200,59} \times 150 \text{ mg/kg}$$

$$A = 371,8 \text{ mg / kg tanah}$$

$$= 0,3178 \text{ g / kg tanah}$$

Perhitungan massa Hg(II)SO₄ pada tiap benda uji adalah sebagai berikut:

a) Benda uji B (270 g Binder : 30 g sampel tanah)

$$1000 \text{ g tanah} = 0,3178 \text{ g Hg(II)SO}_4$$

$$30 \text{ g tanah} = x \text{ Hg(II)SO}_4$$

$$x = \frac{0,3178 \text{ g} \times 30}{1000}$$

$$x = 0,011 \text{ g}$$

b) Benda uji C (240 g Binder : 60 g sampel tanah)

$$1000 \text{ g tanah} = 0,3178 \text{ g Hg(II)SO}_4$$

$$60 \text{ g tanah} = x \text{ Hg(II)SO}_4$$

$$x = \frac{0,3178 \text{ g} \times 60}{1000}$$

$$x = 0,019 \text{ g}$$

c) Benda uji D (210 g Binder : 90 g sampel tanah)

$$1000 \text{ g tanah} = 0,3178 \text{ g Hg(II)SO}_4$$

$$90 \text{ g tanah} = x \text{ Hg(II)SO}_4$$

$$x = \frac{0,3178 \text{ g} \times 90}{1000}$$

$$x = 0,028 \text{ g}$$

d) Benda uji E (180 g Binder : 120 g sampel tanah)

$$1000 \text{ g tanah} = 0,3178 \text{ g Hg(II)SO}_4$$

$$120 \text{ g tanah} = \chi \text{ Hg(II)SO}_4$$

$$\chi = \frac{0,3178 \text{ g} \times 120}{1000}$$

$$\chi = 0,038 \text{ g}$$

e) Benda uji F (150 g Binder : 150 g sampel tanah)

$$1000 \text{ g tanah} = 0,3178 \text{ g Hg(II)SO}_4$$

$$150 \text{ g tanah} = \chi \text{ Hg(II)SO}_4$$

$$\chi = \frac{0,3178 \text{ g} \times 150}{1000}$$

$$\chi = 0,047 \text{ g}$$

C. Perhitungan Nilai Kuat Tekan

Nilai kuat tekan dihitung berdasarkan rumus 2.1, kemudian nilai tersebut dikorelasikan dengan umur beton dengancara membagi nilai kuat tekan dengan nilai korelasi umur beton. **Nilai kuat tekan benda uji pada penelitian tahap I** adalah sebagai berikut:

a) Nilai Kuat Tekan (F) Benda Uji A

$$F_{A1} = \frac{P/A}{\text{korelasi}} = \frac{\frac{12140 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,01} \times 10 = 4807,9 \text{ ton/m}^2$$

$$F_{A2} = \frac{P/A}{\text{korelasi}} = \frac{\frac{15500 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,01} \times 10 = 6138,6 \text{ ton/m}^2$$

b) Nilai Kuat Tekan (F) Benda Uji B

$$F_{B1} = \frac{P/A}{\text{korelasi}} = \frac{\frac{17650 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,01} \times 10 = 6990,1 \text{ ton/m}^2$$

$$F_{B2} = \frac{P/A}{\text{korelasi}} = \frac{\frac{17800 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,01} \times 10 = 7049,5 \text{ ton/m}^2$$

c) Nilai Kuat Tekan (F) Benda Uji C

$$F_{C1} = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{13750 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,00} \times 10 = 5500 \text{ ton/m}^2$$

$$F_{C2} = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{13950 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,00} \times 10 = 5580 \text{ ton/m}^2$$

d) Nilai Kuat Tekan (F) Benda Uji D

$$F_{D1} = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{14700 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,00} \times 10 = 5880 \text{ ton/m}^2$$

$$F_{D2} = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{14150 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,00} \times 10 = 5660 \text{ ton/m}^2$$

e) Nilai Kuat Tekan (F) Benda Uji E

$$F_{E1} = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{8600 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,00} \times 10 = 3440 \text{ ton/m}^2$$

$$F_{E2} = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{13550 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,00} \times 10 = 5420 \text{ ton/m}^2$$

f) Nilai Kuat Tekan (F) Benda Uji F

$$F_{F1} = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{13050 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,00} \times 10 = 5220 \text{ ton/m}^2$$

$$F_{F2} = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{14750 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,00} \times 10 = 5900 \text{ ton/m}^2$$

Nilai kuat tekan benda uji pada penelitian tahap II:

a) Nilai Kuat Tekan (F) Benda Uji A

$$F_{A1} = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{9050 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,01} \times 10 = 3584,2 \text{ ton/m}^2$$

$$F_{A2} = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{8900 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,01} \times 10 = 3524,8 \text{ ton/m}^2$$

b) Nilai Kuat Tekan (F) Benda Uji B

$$F_{B1} = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{6650 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,00} \times 10 = 2660 \text{ ton/m}^2$$

$$F_{B2} = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{7000 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,00} \times 10 = 2800 \text{ ton/m}^2$$

c) Nilai Kuat Tekan (F) Benda Uji C

$$F_{C1} = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{7000 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,00} \times 10 = 8000 \text{ ton/m}^2$$

$$F_{C2} = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{7500 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,00} \times 10 = 3000 \text{ ton/m}^2$$

d) Nilai Kuat Tekan (F) Benda Uji D

$$F_{D1} = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{5800 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,00} \times 10 = 2320 \text{ ton/m}^2$$

$$F_{D2} = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{5500 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,00} \times 10 = 2200 \text{ ton/m}^2$$

e) Nilai Kuat Tekan (F) Benda Uji E

$$F_{E1} = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{4500 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,00} \times 10 = 1800 \text{ ton/m}^2$$

$$F_{E2} = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{4300 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,00} \times 10 = 1720 \text{ ton/m}^2$$

f) Nilai Kuat Tekan (F) Benda Uji F

$$F F1 = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{2750 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,00} \times 10 = 1100 \text{ ton/m}^2$$

$$F F2 = \frac{P/A}{korelasi} = \frac{\frac{2950 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2}}{1,00} \times 10 = 1180 \text{ ton/m}^2$$

D. Perhitungan Efisiensi Stabilisasi Hg

Pada benda uji F dengan perbandingan *binder*:tanah 50:50 terdeteksi Hg sebesar 0,0064 mg/L. Densitas sampel tanah adalah 0,83 kg/L.

Konsentrasi Hg awal pada sampel tanah 150 mg/kg.

$$\text{Konsentrasi Hg akhir setelah S/S} = \frac{0,0064 \text{ mg/L}}{1,70 \text{ kg/L}} = 0,0037 \text{ mg/kg}$$

$$\text{Efisiensi stabilisasi} = \frac{150 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} - 0,0037 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}}{150 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}} \times 100\% = 99,9 \%$$

LAMPIRAN C DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar 1 Lokasi Pengolahan Biji Emas pada Tambang Emas Rakyat di Kulon Progo



Gambar 2 Tumpahan Sisa Tailing



Gambar 3 *Bond Ball Mill*



Gambar 4 *Ordinary Cement Portland*



Gambar 5 *Fly Ash PLTU Paiton*



Gambar 6 *Alat Vicat*



Gambar 7 Pembuatan Benda Uji



Gambar 8 *Moisture Curing*



Gambar 9 Benda Uji Setelah Curing



Gambar 10 Penimbangan Benda Uji



Gambar 11 Alat Uji Kuat Tekan



Gambar 12 Benda Uji Setelah Uji Kuat Tekan

LAMPIRAN D BUKTI HASIL ANALISIS



KEMENTERIAN KESEHATAN RI

DIREKTORAT JENDERAL PENGENDALIAN PENYAKIT
DAN PENYEHATAN LINGKUNGAN

BALAI BESAR TEKNIK KESEHATAN LINGKUNGAN DAN
PENGENDALIAN PENYAKIT (BTKLPP) SURABAYA

Jalan Sidoluhur 12 Surabaya 60175

Telepon (031) 3540189 (layanan konsumen) ; (031) 3540191 (kepala)

Faksimile (031) 3528847 ; Website : www.btklsby.go.id

E-mail : info@btklsby.go.id (program & pelaporan) ; diklat@btklsby.go.id (diklat)

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

I. UMUM

Jenis Contoh Uji : Tanah
Berasal dari : Kota Surabaya
Diambil / Diterima Tanggal : 17 Maret 2015 / 18 Maret 2015
Diambil oleh : Sdr. Suciati Faisal
Kampus ITS Sukolilo Surabaya
Nomor/Kode Laboratorium : 4334 - Sampel Tanah yang diambil di lokasi penambangan

ASLI

II. HASIL PENGUJIAN


No.	Parameter	Satuan	Hasil Laboratorium	Limit Deteksi (LD)	Metode Pembacaan
1	Mercury (Hg)	mg/kg	0,0500	0,0280	SNI 06-6991, 2-2009

Surabaya 6 6 MAY 2015

Mengetahui :
a.n Kepala
Kend. Pengembangan Teknologi
dan Laboratorium


Joko Waluya, BSc., ST.MScPH
 NIP. 19610211986031002

Kepala Instalasi Laboratorium
Kimia Fisika Padatan Material dan
Biomarker


Ambarwati, SSI
 NIP. 19710214 199703 2 001

Perhatian : Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh di atas



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH DAN BATUAN

JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
Kampus ITS, Kepoh, Sukolilo Surabaya (60111)
Telp : 031-5928601, 5994251 - 55 paw. 1140 Fax. 031-5929601

ANALISA PEMBAGIAN BUTIR

ASTM D 421-80; ASTM D422-90; SNI 03-3423-1990

KLIEN	:	SUCI JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN FTSP-ITS	Tanggal Uji	:	23 Maret 2015
PROYEK	:	PENELITIAN TUGAS AKHIR	Diuji oleh	:	Endro S.
LOKASI	:		Diperiksa oleh:	:	Ir. Gani, MT.
QUARRY MATERIAL	:				

Sample No :				Kerikil		Pasir			Butiran halus	
Berat tanah kering :				300 gr		Kasar		Medium	Halus	
Berat mangkok :				13.93 gr		1.57%		39.36%		
								34.46%		
								24.60%		

φ	"	Berat Terbakar	% Terbakar	% Lolos
(mm)	SIKVE	(gr)		
50	2"			100
25.4	1"			100.00
19.05	3/4"			100.00
9.5	3/8"	14.77	0.8	99.72
4.75	4	17.81	3.9	98.43
2	10	29.99	16.1	93.07
0.85	20	28.46	14.5	88.23
0.425	40	28.82	14.9	83.27
0.125	100	47.09	33.2	72.21
0.075	200	53.39	39.5	69.06
0.060				77.65
0.050				25.30
0.038				23.90
0.030				22.49
0.0075				21.09





Kementerian
Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA

BADAN PENGKAJIAN KEBIJAKAN IKLIM DAN MUTU INDUSTRI
BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI SURABAYA
LABORATORIUM PENGUJIAN DAN KALIBRASI
BARISTAND INDUSTRI SURABAYA

Jl. Jagir Wonokromo No. 360 Surabaya 60244, Telp. (031) 8410054, (031) 70000034, Fax. (031) 8410480
<http://surabaya.bpkimi.kemenperin.go.id/>



Komite Akreditasi Nasional
LABORATORIUM PENGUJIAN
LP-213-IBN

LAPORAN HASIL UJI

No. 1754/LHU/2/VI/2015

Nomor Analisa : 2015P2296 sd P2319

Nama Pengirim : SUCIATY FAISAL

Contoh : Ekstrak Mortar

Merk : -

Alamat : Gebang Wetan No. 42 Surabaya - Jawa Timur

Diterima Tanggal : 25-Mei-2015

Catatan Sampel : 100 ml limbah cair dalam wadah botol

No	No Analisa	Kode	Parameter Hg (mg/L)	Metode Uji
1	P.2296	A 1	0.0032	SNI 6989.78 : 2011
2	P.2297	A 2	0.0036	SNI 6989.78 : 2011
3	P.2298	B 1	0.0043	SNI 6989.78 : 2011
4	P.2299	B 2	0.0059	SNI 6989.78 : 2011
5	P.2300	C 1	0.0062	SNI 6989.78 : 2011
6	P.2301	C 2	0.0124	SNI 6989.78 : 2011
7	P.2302	D 1	0.01	SNI 6989.78 : 2011
8	P.2303	D 2	0.0068	SNI 6989.78 : 2011
9	P.2304	E 1	0.0021	SNI 6989.78 : 2011
10	P.2305	E 2	0.0044	SNI 6989.78 : 2011
11	P.2306	F 1	0.0064	SNI 6989.78 : 2011
12	P.2307	F 2	0.0064	SNI 6989.78 : 2011
13	P.2308	G 1	0.0006	SNI 6989.78 : 2011
14	P.2309	G 2	0.001	SNI 6989.78 : 2011
15	P.2310	H 1	0.0117	SNI 6989.78 : 2011
16	P.2311	H 2	0.0161	SNI 6989.78 : 2011
17	P.2312	I 1	0.0308	SNI 6989.78 : 2011
18	P.2313	I 2	0.0359	SNI 6989.78 : 2011
19	P.2314	J 1	0.0491	SNI 6989.78 : 2011
20	P.2315	J 2	0.0487	SNI 6989.78 : 2011
21	P.2316	K 1	0.0737	SNI 6989.78 : 2011
22	P.2317	K 2	0.0533	SNI 6989.78 : 2011
23	P.2318	L 1	0.0853	SNI 6989.78 : 2011
24	P.2319	L 2	0.0772	SNI 6989.78 : 2011

Catatan: Parameter uji sesuai dengan permintaan

Surabaya, 01 Juni 2015



Gatut Wulandari N. ST
NIP. 198402212005022001

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Suciaty Faisal dilahirkan di Bekasi pada 27 Mei 1993. Penulis mengenyam pendidikan dasar pada tahun 1999-2005 di SD Negeri Duren Jaya VI Bekasi, kemudian dilanjutkan di SMP Negeri 1 Bekasi pada tahun 2005-2008. Pendidikan tingkat atas ditempuh pada tahun 2008-2011 di SMA Negeri 54 Jakarta. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan NRP 3311100060.

Selama perkuliahan penulis aktif di berbagai kegiatan Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan (HMTL) FTSP-ITS, dan kegiatan peduli lingkungan di berbagai acara yang diadakan BLH Jawa Timur maupun komunitas-komunitas lingkungan. Penulis pernah menjabat sebagai Ketua Divisi Kominfo Kelompok Pecinta dan Pemerhati Lingkungan HMTL periode 2013-2014 dan anggota Garda Lingkungan BLH Jawa Timur. Penulis memiliki pengalaman dunia kerja dengan melaksanakan Kerja Praktik di PT. Chandra Asri Petrochemical, Tbk pada tahun 2014 dengan bidang pengolahan air limbah industri dan magang di kantor konsultan bidang distribusi air minum dan bidang ekonomi. Penulis dapat dihubungi via email suciatyfaisal@gmail.com.